

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表2004-509429

(P2004-509429A)

(43) 公表日 平成16年3月25日 (2004.3.25)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	F I	テーマコード (参考)
H05H 1/48	H05H 1/48	L 4G075
B01J 3/00	H05H 1/48	R 4K030
B01J 19/08	B01J 3/00	J 5F004
C23C 16/507	B01J 19/08	H 5F045
H01L 21/205	C23C 16/507	

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 105 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2002-508822 (P2002-508822)  
 (36) (22) 出願日 平成13年6月29日 (2001.6.29)  
 (85) 翻訳文提出日 平成14年12月27日 (2002.12.27)  
 (86) 国際出願番号 PCT/US2001/020717  
 (87) 国際公開番号 WO2002/005308  
 (87) 国際公開日 平成14年1月17日 (2002.1.17)  
 (31) 優先権主張番号 09/610,800  
 (32) 優先日 平成12年7月6日 (2000.7.6)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)  
 (31) 優先権主張番号 09/611,168  
 (32) 優先日 平成12年7月6日 (2000.7.6)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)  
 (31) 優先権主張番号 09/611,345  
 (32) 優先日 平成12年7月6日 (2000.7.6)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

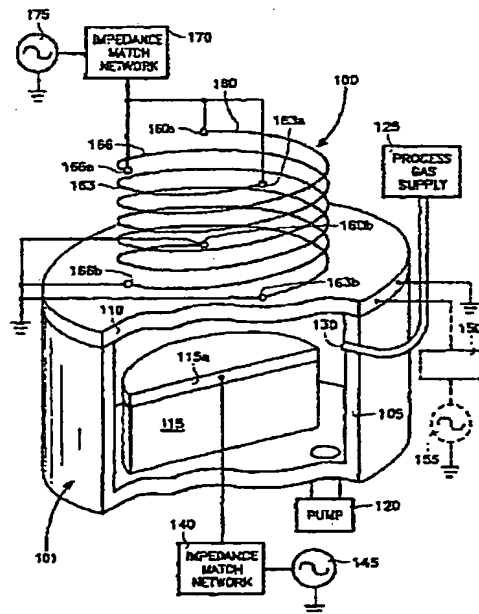
(71) 出願人 500022096  
 アプライド マテリアルズ インコーポレ  
 イテッド  
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95  
 052 サンタ クララ ビーオーボッ  
 ス 450エイ  
 (74) 代理人 100059959  
 弁理士 中村 稔  
 (74) 代理人 100067013  
 弁理士 大塚 文昭  
 (74) 代理人 100082005  
 弁理士 熊倉 禎男  
 (74) 代理人 100065189  
 弁理士 穴戸 喜一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 対称的な並列導体のコイルアンテナを有するプラズマリアクタ

## (57) 【要約】

本発明は、半導体ワークピースを処理するためのプラズマリアクタにおいて実現される。このリアクタは、側壁と天井を有する真空チャンバ、チャンバ内に一般に天井と向き合うワークピース支持ベDESTAL、チャンバへプロセスガスを導入することができるガス入力、及び天上の上にあり、軸対称から少なくともほぼ一様に横に交位しているそれぞれの同軸上のヘリカルソレノイドにおいて天上にほぼ垂直な軸対称の周りに巻かれた第1の複数導体のソレノイド状のインターリーブされた並列導体コイルアンテナを含む。各々のヘリカルソレノイドは、他のヘリカル導体からオフセットされている。他の実施の形態において、アンテナは天上の上にあり、それぞれの同軸上の並んだヘリカルソレノイドにおいて天上にほぼ垂直な対称軸の周りに巻かれた第1の複数導体を有するソレノイド上のセグメント化された並列導体コイルアンテナである。各々のヘリカルソレノイドは、対称軸に垂直な方向に最も近い他のヘリカルソレノイドから、複数の導体の導体幅の大きさの距離だけオフセットされており、それにより各ヘリカルソレノイドは僅かに異なった



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

ワークピースを処理するために RF 電源の供給と共に使用するプラズマリアクタであって、

天井を有し、軸対称を規定する真空チャンバと、

前記チャンバ内のワークピース支持ペダスタルと、

前記天井の少なくとも中間部分上に置かれ、それぞれの同軸ヘリカルソレノイドにおける対称軸の周りに巻かれた第 1 の複数導体を有する第 1 のソレノイドのインターリーブされたコイルアンテナと、

を備え、

前記複数導体は、前記対称軸から少なくともほぼ一様に横方向に変位され、前記複数導体は、ほぼ対称軸の方向に互いにオフセットされ、且つ、前記複数導体の各々は、RF ソース電源の両端に接続されることを特徴とするプラズマリアクタ。

## 【請求項 2】

前記コイルアンテナは、前記対称軸にほぼ垂直な上面と下面の間にあり、各導体によって規定されたヘリカルソレノイドは、前記上面近くの導体の上部点、及び前記下面近くの導体の下部点において終端されており、前記 RF 電源は、前記導体の各々の前記上部点及び下部点の両端に接続されていることを特徴とする請求項 1 に記載のプラズマリアクタ。

## 【請求項 3】

前記上部点は、前記 RF 電源の出力端子に接続され、且つ前記下部点は、前記天井近くの電位を減少するように接地されていることを特徴とする請求項 2 に記載のプラズマリアクタ。

## 【請求項 4】

前記上部点は、 $n$  がコイルアンテナの前記複数導体の数である場合に、約  $360/n$  によって互いに角度的に変位されていることを特徴とする請求項 2 に記載のプラズマリアクタ。

## 【請求項 5】

前記下部点は、 $n$  がコイルアンテナの前記複数導体の数である場合に、約  $360/n$  によって互いに角度的に変位されていることを特徴とする請求項 4 に記載のプラズマリアクタ。

## 【請求項 6】

前記上部点は同一平面にあり、且つ、前記上面にあることを特徴とする請求項 5 に記載のプラズマリアクタ。

## 【請求項 7】

前記下部点は同一平面にあり、且つ、前記下面にあることを特徴とする請求項 6 に記載のプラズマリアクタ。

## 【請求項 8】

前記下面は、前記天井の上面とほぼ同一平面であり、前記下面にあることを特徴とする請求項 7 に記載のプラズマリアクタ。

## 【請求項 9】

前記導体の各々の前記上端部と下端部は、対称軸に平行な方向の同一直線にあることを特徴とする請求項 2 に記載のプラズマリアクタ。

## 【請求項 10】

前記複数導体の前記ヘリカルソレノイドは、円筒状であり、横の広がり、前記ヘリカルソレノイドの直径であり、それにより、コイルアンテナの直立シリンダーを規定していることを特徴とする請求項 1 に記載のプラズマリアクタ。

## 【請求項 11】

さらに、前記ワークピースの支持ペダスタルに接続されたプラズマバイアス RF 電源を有することを特徴とする請求項 1 に記載のプラズマリアクタ。

## 【請求項 12】

前記プラズマソース電源は、ソースRF発生器、及び前記ソースRF発生器と前記アンテナ間に接続されたインピーダンスマッチング回路網を有することを特徴とする請求項1に記載のプラズマリアクタ。

【請求項13】

前記プラズマバイアス電源は、バイアスRF発生器、及び前記バイアスRF発生器と前記ワークピースの支持ペダスタル間に接続されたインピーダンスマッチング回路網を有することを特徴とする請求項1に記載のプラズマリアクタ。

【請求項14】

さらに、前記天井の上に置かれ、前記第1のソレノイドのインターリーブされた導体コイルアンテナによって囲まれ、且つそれより小さな横の広がりを持つ内側コイルアンテナを有し、それにより、前記第1のソレノイドのインターリーブされた導体コイルアンテナは、外側のコイルアンテナとなることを特徴とする請求項1に記載のプラズマリアクタ。 10

【請求項15】

さらに、前記内側のコイルアンテナに接続された第2のRFプラズマソース電源を有し、それにより、前記内側と外側アンテナに供給されるそれぞれのRF電力レベルは、前記内側と外側アンテナから供給されたRF磁界の半径方向の分布を制御するために差動的に調整可能であることを特徴とする請求項14に記載のプラズマリアクタ。

【請求項16】

前記第1のRFプラズマソース電源は、差動的に調整可能な電力レベルを有する2つのRF出力を有し、前記2つのRF出力の一方は、前記外側アンテナに接続され、その他方は内側アンテナに接続されており、それにより、前記内側と外側アンテナに供給されたそれぞれのRF電力レベルは、内側と外側アンテナから供給されるRF磁界の半径方向の分布を制御するために差動的に調整可能であることを特徴とするプラズマリアクタ。 20

【請求項17】

前記第1の複数導体の数は、前記第2の複数導体の数より大きく、且つ前記第1の複数導体の長さは、それによって、前記外側アンテナの誘導性リアクタンスを前記内側アンテナの誘導性リアクタンスに少なくとも近づくように短くされることを特徴とする請求項14に記載のプラズマリアクタ。

【請求項18】

前記内側アンテナは、前記天井の上に置かれ、且つ前記外側アンテナの変位より小さい、前記対称軸から少なくともほぼ一様な横に変位した同軸状ヘリカルソレノイドの前記対称軸の周りに巻かれた第2の複数導体を有する第2のソレノイドのインターリーブされた導体コイルアンテナを有し、各ヘリカルソレノイドの導体は、前記対称軸に平行な方向に他のヘリカルソレノイドの導体からオフセットされていることを特徴とする請求項14に記載のプラズマリアクタ。 30

【請求項19】

前記外側アンテナの前記第1の複数導体の数は、前記内側アンテナの前記第2の複数導体の数より大きいことを特徴とする請求項18に記載のプラズマリアクタ。

【請求項20】

前記第1の並列複数導体の数は、前記第2の並列複数導体の数より大きく、且つ前記第1の並列複数導体の長さは、それによって、前記外側アンテナの誘導性リアクタンスを前記内側アンテナの誘導性リアクタンスの少なくとも近づくように短くされることを特徴とする請求項19に記載のプラズマリアクタ。 40

【請求項21】

前記第2の複数導体の数は、前記短い長さを補償するのに充分であることを特徴とする請求項20に記載のプラズマリアクタ。

【請求項22】

前記第1の複数導体の数は、前記第2の複数導体の数の2倍であることを特徴とする請求項21に記載のプラズマリアクタ。

【請求項23】

前記外側アンテナの前記第1の複数導体の横への変位は一樣であり、前記内側アンテナの前記第2の複数導体の横への変位は一樣であり、これにより、前記内側と外側アンテナは、前記導体の厚さに相当するそれぞれの狭い環状の幅内に制限され、それにより、供給されたRF磁界の半径方向の前記内側と外側の差の影響を最小にすることを特著とする請求項18に記載のプラズマリアクタ。

【請求項24】

前記チャンバ及び前記内側と外側アンテナは円筒状であることを特徴とする請求項23に記載のプラズマリアクタ。

【請求項25】

前記第1と第2の複数導体の横の変位は、それぞれ外側と内側の半径であり、それぞれ、前記チャンバの周辺及び中心領域の上にあることを特徴とする請求項24に記載のリアクタチャンバ。 10

【請求項26】

前記内側コイルアンテナは、対称軸にほぼ垂直な上部内面と下部内面の間にあり、前記内側アンテナの各導体によって規定されたヘリカルソレノイドは、前記上部内面近くの導体の上部点において、又前記下部内面近くの導体の下部点において終端しており、且つ前記外側コイルアンテナは、対称軸にほぼ垂直な上部外面と下部外面の間にあり、前記外側アンテナの各導体によって規定されたヘリカルソレノイドは、前記上部外面近くの導体の上部点において、又前記下部外面近くの導体の下部点において終端していることを特徴とする請求項18に記載のプラズマリアクタ。 20

【請求項27】

前記外側アンテナの前記上部点は、 $n$ が前記外側コイルアンテナの複数導体の数である場合、約 $360/n$ によって互いに角度的に変位され、前記内側アンテナの前記上部点は、 $m$ が前記内側コイルアンテナの複数導体の数である場合、約 $360/n$ によって互いに角度的に変位されていることを特徴とする請求項26に記載のプラズマリアクタ。

【請求項28】

前記外側アンテナの前記下部点は、 $n$ が前記外側コイルアンテナの複数導体の数である場合、約 $360/n$ によって互いに角度的に変位され、前記内側アンテナの前記下部点は、 $m$ が前記内側コイルアンテナの複数導体の数である場合、約 $360/n$ によって互いに角度的に変位されており、且つ 30

前記導体の各々の前記上部点及び下部点は、対称軸に平行な方向に沿って整列されていることを特徴とする請求項27に記載のプラズマリアクタ。

【請求項29】

さらに、前記上部内面に、前記内側アンテナとほぼ同じ半径を有する内側環状RF電力導体バスを有し、前記内側アンテナの前記上部点は、前記内側環状RF電力導体バスに接続されており、且つ

前記上部外面に、前記外側アンテナとほぼ同じ半径を有する外側環状RF電力導体バスを有し、前記外側アンテナの前記上部点は、前記外側環状RF電力導体バスに接続されていることを特徴とする請求項28に記載のプラズマリアクタ。

【請求項30】

$n$ は、 $m$ の整数倍であり、また前記外側アンテナの上部点の $n/m$ は、前記アンテナの上部点と角度のある整列をしていることを特徴とする請求項27に記載のプラズマリアクタ。 40

【請求項31】

前記上部点及び下部点は、前記リアクタの軸対称に関して、及び互いに等しく間隔が開けられていることを特徴とする請求項2に記載のプラズマリアクタ。

【請求項32】

前記導体は、前記リアクタの対称軸に関して、及び互いに等しく間隔が開けられ、且つ実質的に同じ形状であることを特徴とする請求項31に記載のプラズマリアクタ。

【請求項33】

前記アンテナの導体は、ほぼ相互に平行であることを特徴とする請求項 1 に記載のプラズマリアクタ。

【請求項 3 4】

前記ソレノイドアンテナは、矩形であることを特徴とする請求項 1 に記載のプラズマリアクタ。

【請求項 3 5】

前記上部点は、方位角的に等しく間隔が開けられており、また前記下部点は、方位角的に等しく間隔が開けられていることを特徴とする請求項 2 に記載のプラズマリアクタ。

【請求項 3 6】

前記上部と下部点の対応する点は、軸整列していることを特徴とする請求項 2 に記載のプラズマリアクタ。 10

【請求項 3 7】

ワークピースを処理するため RF ソース電源を有するプラズマリアクタであって、天井を有し、対称軸を規定する真空チャンバと、前記チャンバ内にあるワークピース支持ペダスタルと、天井の上にあり、それぞれ同軸状に並んだヘリカルソレノイドにおいて対称軸の周りに巻かれた第 1 の複数導体を有する第 1 のソレノイドのセグメント化されたコイルアンテナと、を有し、

各々のヘリカルソレノイドの導体は、前記対称軸の横切る方向に最も近くの他のヘリカルソレノイドの導体から前記複数導体の約導体幅の大きさの距離だけオフセットされており、前記導体の各々は、前記 RF ソース電源の両端に接続するのに適合されることを特徴とするプラズマリアクタ。 20

【請求項 3 8】

前記アンテナの各々のヘリカルソレノイドは、僅かに異なる直径を有していることを特徴とする請求項 3 7 に記載のプラズマリアクタ。

【請求項 3 9】

前記アンテナのセグメント化された導体の各々は、互いにほぼ平行であることを特徴とすることを特徴とする請求項 3 7 に記載のプラズマリアクタ。

【請求項 4 0】

前記コイルアンテナは、対称軸にほぼ垂直である上部面と下部面の間にあり、各導体によって規定されたヘリカルソレノイドは、前記上部面近くの導体の上部点で、及び前記下部面近くの導体の下部点で終端され、前記 RF 電源は、前記導体の各々の前記上部点及び下部点の両端に接続されることを特徴とする請求項 3 7 に記載のプラズマリアクタ。 30

【請求項 4 1】

前記上部点は、前記 RF 電源の出力端子に接続され、且つ前記下部点は、前記天井近くの電位を減少するように接地されていることを特徴とする請求項 4 0 に記載のプラズマリアクタ。

【請求項 4 2】

前記上部点は、 $n$  が前記コイルアンテナの前記複数導体の数である場合、約  $360/n$  だけ互いに角度的に変位されていることを特徴とする請求項 4 0 に記載のプラズマリアクタ。 40

【請求項 4 3】

前記下部点は、 $n$  が前記コイルアンテナの前記複数導体の数である場合、約  $360/n$  だけ互いに角度的に変位されていることを特徴とする請求項 4 0 に記載のプラズマリアクタ。

【請求項 4 4】

前記上部点は、同一平面にあり、且つ前記上部面にあることを特徴とする請求項 4 0 に記載のプラズマリアクタ。

【請求項 4 5】

前記下部点は、同一平面にあり、且つ前記下部面にあることを特徴とする請求項 40 に記載のプラズマリアクタ。

【請求項 46】

前記下部面は、前記天井の上面とほぼ同一面であることを特徴とする請求項 45 に記載のプラズマリアクタ。

【請求項 47】

前記導体の各々の前記上端部と下端部は、前記対称軸に平行な方向に同一面であることを特徴とする請求項 40 に記載のプラズマリアクタ。

【請求項 48】

前記複数導体の前記ヘリカルソレノイドは、円筒形であり、横の広がり、前記ヘリカルソレノイドの直径であり、それによりコイルアンテナは直立円筒形を規定していることを特徴とする請求項 37 に記載のプラズマリアクタ。 10

【請求項 49】

さらに、前記ワークピース支持ペダスタルに接続されたプラズマバイアス RF 電源を有することを特徴とする請求項 37 に記載のプラズマリアクタ。

【請求項 50】

前記プラズマソース電源は、ソース RF 発生器、及び前記ソース RF 発生器と前記アンテナ間に接続されたインピーダンスマッチング回路網を有することを特徴とする請求項 37 に記載のプラズマリアクタ。

【請求項 51】

前記プラズマソース電源は、バイアス RF 発生器、及び前記バイアス RF 発生器と前記ワークピース支持ペダスタル間に接続されたインピーダンスマッチング回路網を有することを特徴とする請求項 49 に記載のプラズマリアクタ。 20

【請求項 52】

さらに、天井の上にあり、前記第 1 のソレノイドのインターリーブされた並列導体コイルアンテナによって囲まれ、且つ、それより小さな横の広がり、を有する内側コイルアンテナを有することを特徴とする請求項 37 に記載のプラズマリアクタ。

【請求項 53】

さらに、前記内側コイルアンテナに接続された第 2 の RF ソース電源を有し、それにより、前記内側と外側アンテナに供給されるそれぞれの RF 電力レベルは、前記内側と外側アンテナから供給される RF 磁界の半径方向の分布を制御するために差動的に調整可能であることを特徴とする請求項 52 に記載のプラズマリアクタ。 30

【請求項 54】

前記第 1 の RF プラズマソース電源は、差動的に調整可能な電力レベルを有する 2 つの RF 出力を含み、前記 2 つの RF 出力の一方は、前記外側アンテナに接続され、他方は、前記内側アンテナに接続され、それにより、前記内側と外側アンテナに供給されたそれぞれの RF 電力レベルは、前記内側と外側アンテナから供給された RF 磁界の半径方向の分布を制御するために、差動的に調整可能であることを特徴とする請求項 52 に記載のプラズマリアクタ。

【請求項 55】

前記第 1 の並列複数導体の数は、前記第 2 の並列複数導体の数より大きく、且つ、それにより、前記並列複数導体の長さは、前記外側アンテナの誘導性リアクタンスを前記内側アンテナの誘導性リアクタンスに少なくとも近づくように、短くされていることを特徴とする請求項 52 に記載のプラズマリアクタ。 40

【請求項 56】

前記内側アンテナは、前記天井の上にあり、同軸上のヘリカルソレノイドにおいて前記対称軸の周りに巻かれた第 2 の複数導体を有する第 2 のソレノイドのセグメント化された並列導体コイルアンテナを有し、各ヘリカルソレノイドは、対称軸に垂直な方向に他のヘリカルソレノイドからオフセットされていることを特徴とする請求項 52 に記載のプラズマリアクタ。 50

## 【請求項 5 7】

前記外側アンテナの前記第 1 の複数導体の数は、前記内側アンテナの前記第 2 の複数導体の数より大きいことを特徴とする請求項 5 6 に記載のプラズマリアクタ。

## 【請求項 5 8】

前記第 1 の並列複数導体の数は、前記第 2 の並列複数導体の数より大きく、且つ、それにより、前記第 1 の並列複数導体の長さは、前記外側アンテナの誘導性リアクタンスを前記内側アンテナの誘導性リアクタンスにすくなくとも近づけるように、短くされていることを特徴とする請求項 5 6 に記載のプラズマリアクタ。

## 【請求項 5 9】

前記第 2 の複数導体の数は、前記短い長さを補償するのに充分であることを特徴とする請求項 5 8 に記載のプラズマリアクタ。

## 【請求項 6 0】

前記第 1 の複数導体の数は、前記第 2 の複数導体の数の 2 倍であることを特徴とする請求項 5 9 に記載のプラズマリアクタ。

## 【請求項 6 1】

内側と外側アンテナは、それぞれの狭い環状の幅内に制限され、各々は、約導体の厚倍された対応する導体の数の大きさに制限され、それにより、供給された RF 磁界の半径方向の、前記内側と外側アンテナの差の影響を最小にすることを特徴とする請求項 5 6 に記載のプラズマリアクタ。

## 【請求項 6 2】

前記チャンバ及び前記内側と外側アンテナは円筒状であることを特徴とする請求項 6 1 に記載のプラズマリアクタ。

## 【請求項 6 3】

前記第 1 と第 2 の複数導体の前記横方向の変位は、それぞれ前記周辺と中心領域の上にあるそれぞれの外側と内側の半径であることをと特徴とする請求項 6 2 に記載のプラズマリアクタ。

## 【請求項 6 4】

前記内側コイルアンテナは、前記対称軸にほぼ垂直な上部内面と下部内面間にあり、前記内側アンテナの各導体によって規定されたヘリカルソレノイドは、前記上部内面の近くにある導体の上部点及び前記下部内面近くにある導体の下部点において終端されており、且 30

つ  
前記外側コイルアンテナは前記対称軸にほぼ垂直な上部外面と下部外面間にあり、前記外側アンテナの各導体によって規定されたヘリカルソレノイドは前記上部外面の近くにある導体の上部点及び前記下部外面近くにある導体の下部点において終端されていることを特徴とする請求項 5 6 に記載のプラズマリアクタ。

## 【請求項 6 5】

前記外側アンテナの前記上部点は、 $n$  が外側コイルアンテナの前記複数導体の数である場合、約  $360/n$  だけ互いに角度的に変位されており、且つ、  
前記内側アンテナの前記上部点は、 $m$  が外側コイルアンテナの前記複数導体の数である場合、約  $360/m$  だけ互いに角度的に変位されていることを特徴とする請求項 6 4 に記載 40

## 【請求項 6 6】

前記外側アンテナの前記下部点は、 $n$  が外側コイルアンテナの前記複数導体の数である場合、約  $360/n$  だけ互いに角度的に変位されており、  
前記内側アンテナの前記下部点は、 $m$  が外側コイルアンテナの前記複数導体の数である場合、約  $360/m$  だけ互いに角度的に変位されており、且つ  
前記導体の各々の上部点及び下部点は、対称軸に平行な方向に沿って整列していることを特徴とする請求項 6 5 に記載のプラズマリアクタ。

## 【請求項 6 7】

さらに、前記上部内面にあり、前記内側アンテナの半径とほぼ同じ半径を有する内側環状 50

R F電力導体バスを有し、前記内側アンテナの前記上部点は、前記内側環状R F電力導体バスに接続されており、且つ

前記上部外面にあり、前記外側アンテナの半径とほぼ同じ半径を有する外側環状R F電力導体バスを有し、前記外側アンテナの前記上部点は、前記外側環状R F電力導体バスに接続されていることを特徴とする請求項66に記載のプラズマリアクタ。

【請求項68】

前記複数導体の前記ヘリカルソレノイドは、長手方向に加えて、横方向に螺旋形であることを特徴とする請求項37に記載のプラズマリアクタ。

【請求項69】

前記複数導体の前記ヘリカルソレノイドは、三次元表面の一部を規定していることを特徴とする請求項68に記載のプラズマリアクタ。 10

【請求項70】

前記三次元表面は、ドーム形状の表面の一部であることを特徴とする請求項69に記載のプラズマリアクタ。

【請求項71】

前記天井は、三次元表面を規定し、前記ヘリカルソレノイドの前記三次元表面は、前記天井の三次元表面と一致することを特徴とする請求項70に記載のプラズマリアクタ。

【請求項72】

前記天井及び前記ヘリカルソレノイドは部分的なドーム形状に相互に一致していることを特徴とする請求項71に記載のプラズマリアクタ。 20

【請求項73】

前記上部点及び下部点は、前記リアクタの対称軸に関して、互いに等しく間隔が開けられていることを特徴とする請求項40に記載のプラズマリアクタ。

【請求項74】

前記導体は、互いに及び対称軸に関して一様に間隔が開けられ、且つ実質的に同じ形状であることを特徴とする請求項73に記載のプラズマリアクタ。

【請求項75】

前記ソレノイドアンテナは矩形であることを特徴とする請求項37に記載のプラズマリアクタ。

【請求項76】

前記ソレノイドアンテナは直立シリンダーに一致していることを特徴とする請求項37に記載のプラズマリアクタ。 30

【請求項77】

ワークピースを処理するためのプラズマリアクタであって、  
天井を有し、対称軸を規定する真空チャンバと、  
チャンバ内のワークピース支持ペダスタルと、  
前記チャンバに隣接する、前記軸の周りに対称的に巻かれた第1の複数導体を有する外側コイルアンテナと、  
前記チャンバに隣接する、前記軸の周りに対称的に巻かれた第2の複数導体を有する内側コイルアンテナと、  
を備え、 40

前記第1の複数導体の数は、前記第2の複数導体の数より大きいことを特徴とするプラズマリアクタ。

【請求項78】

前記複数導体の各々内にある導体は、ほぼ相互に平行であることを特徴とする請求項77に記載のプラズマリアクタ。

【請求項79】

少なくとも前記外側アンテナは、インターリーブされた並列導体コイルアンテナであることを特徴とする請求項77に記載のプラズマリアクタ。

【請求項80】



少なくとも前記外側アンテナは、前記天井の面にほぼ平行な面において平坦であることを特徴とする請求項 79 に記載のプラズマリアクタ。

【請求項 81】

少なくとも前記外側アンテナは、ドーム形状であることを特徴とする請求項 79 に記載のプラズマリアクタ。

【請求項 82】

少なくとも前記外側アンテナは、ソレノイドであることを特徴とする請求項 79 に記載のプラズマリアクタ。

【請求項 83】

少なくとも前記外側アンテナは、ソレノイドのセグメント化された並列導体コイルアンテナであることを特徴とする請求項 77 に記載のプラズマリアクタ。 10

【請求項 84】

さらに、前記内側と外側コイルアンテナに接続された独立した RF プラズマソース電源をそれぞれ有し、それにより前記内側と外側アンテナに供給されるそれぞれの RF 電力レベルは、前記内側と外側アンテナから供給される RF 磁界の半径方向の分布を制御するために作動的に調整可能であることを特徴とする請求項 77 に記載のプラズマリアクタ。

【請求項 85】

さらに、差動的に調整可能な電力レベルを有する 2 つの RF 出力のある RF プラズマソース電源を有し、前記 2 つの RF 出力の一方は前記外側アンテナに接続され、且つ他方は内側アンテナに接続され、それにより前記内側と外側アンテナに供給されるそれぞれの RF 電力レベルは、前記内側と外側アンテナから供給される RF 磁界の半径方向の分布を制御するために作動的に調整可能であることを特徴とする請求項 77 に記載のプラズマリアクタ。 20

【請求項 86】

前記 RF プラズマソース電源は、  
出力端子と戻り端子を有する RF 電力発生器と、  
直列キャパシタと、

前記 RF 電力発生器の出力端子と前記直列キャパシタの一方の側間に接続されたインピーダンスマッチング素子と、  
前記直列キャパシタの他方の側及び前記戻り端子間に接続された可変並列キャパシタと、 30  
前記インピーダンスマッチング素子と前記直列キャパシタ間の接続点に接続された第 1 の出力ノードと、  
前記直列キャパシタと前記可変並列キャパシタ間の接続点に接続された第 2 の出力ノードと、  
を有することを特徴とする請求項 85 に記載のプラズマリアクタ。

【請求項 87】

さらに、前記内側と外側アンテナ間に中間コイルアンテナを有し、前記 RF ソース電源は、第 3 の差動的に調整可能な RF 出力を有することを特徴とする請求項 85 に記載のプラズマリアクタ。

【請求項 88】

前記 RF プラズマソース電源は、  
出力端子と戻り端子を有する RF 電力発生器と、  
第 1 の直列キャパシタと、  
前記 RF 電力発生器の出力端子と前記直列キャパシタの一方の側間に接続されたインピーダンスマッチング素子と、  
前記直列キャパシタの他方の側及び前記戻り端子間に接続された第 1 の可変並列キャパシタと、  
前記第 1 の直列キャパシタと前記第 1 の並列キャパシタ間の接続点に接続された一方の側を有する第 2 の直列キャパシタと、  
前記第 2 の直列キャパシタの他方の側と前記 RF 戻り端子間に接続された第 2 の可変並列 40  
50

キャパシタと、  
前記インピーダンスマッチング素子と前記第1の直列キャパシタ間の接続点に接続された第1の出力ノードと、  
前記第1の直列キャパシタと前記第1の可変並列キャパシタ間の接続点に接続された第2の出力ノードと、  
前記第2の直列キャパシタと前記第2の可変並列キャパシタ間の接続点に接続された第3の出力ノードと、  
を有することを特徴とする請求項85に記載のプラズマリアクタ。

【請求項89】

前記内側と外側アンテナは、円形であることを特徴とする請求項77に記載のプラズマリアクタ。 10

【請求項90】

前記内側と外側アンテナは、長方形であることを特徴とする請求項77に記載のプラズマリアクタ。

【請求項91】

前記内側アンテナは、前記天井の少なくとも中間部上にあることを特徴とする請求項77に記載のプラズマリアクタ。

【請求項92】

さらに、プロセスガスを前記チャンバへ供給するためのプロセスガス分配入口を有することを特徴とする請求項77に記載のプラズマリアクタ。 20

【請求項93】

前記内側と外側アンテナの少なくとも1つは、セグメント化された複数導体アンテナであることを特徴とする請求項77に記載のプラズマリアクタ。

【請求項94】

前記第1の並列複数導体の長さは、前記外側アンテナの誘導性リアクタンスを前記内側アンテナの誘導性リアクタンスの少なくとも近づくように、短くされることを特徴とする請求項77に記載のプラズマリアクタ。

【請求項95】

前記内側アンテナは、前記天井の少なくとも中間部上にあることを特徴とする請求項77に記載のプラズマリアクタ。 30

【請求項96】

前記ワークピース支持体は、前記天井にほぼ面していることを特徴とする請求項77に記載のプラズマリアクタ。

【請求項97】

前記外側アンテナは、前記内側アンテナの半径より大きな半径を有していることを特徴とする請求項77に記載のプラズマリアクタ。

【請求項98】

各導体は、2つの端部を規定し、且つ、前記第1の複数導体の前記端部は、前記第2の複数導体のそれぞれの端部と軸整列していることを特徴とする請求項77に記載のプラズマリアクタ。 40

【請求項99】

各導体は、第1と第2の端部を規定し、且つ、少なくとも前記第1の複数導体の第1の端部は、方位的に等しく間隔が開けられており、前記少なくとも前記第1の複数導体の第2の端部は、方位的に等しく間隔が開けられていることを特徴とする請求項77に記載のプラズマリアクタ。

【請求項100】

前記内側と外側アンテナの少なくとも1つは、直立シリンダを規定していることを特徴とする請求項77に記載のプラズマリアクタ。

【請求項101】

RF電力を真空チャンバへ放射するためのコイルアンテナであって、 50

複数の並列のセグメント化された導体を有し、その各々は第1の端部と第2の端部を有し、前記第1の端部は第1の共通のRF電位に接続されるために適合され、前記第2の端部は第2の共通のRF電位に接続されるために適合され、前記複数導体の各々は、共通の対称軸の周りに巻かれ、前記第2の端部の各々は、互いに前記軸から実質的に等しく間隔が開けられていることを特徴とするアンテナ。

【請求項102】

各セグメント化された導体は、直立の円形シリンダ面に一致していることを特徴とする請求項101に記載のアンテナ。

【請求項103】

前記導体の各々は第1と第2の端部を規定し、前記第1の端部の各々は互いに方位的に実質的に等しく間隔が開けられ、且つ、前記第2の端部の各々は互いに方位的に実質的に等しく間隔が開けられていることを特徴とする請求項101に記載のアンテナ。 10

【請求項104】

前記複数のセグメント化された導体は、それぞれ前記軸に関して並んで方向付けされた隣接する同軸ヘリックスを規定していることを特徴とする請求項101に記載のアンテナ。

【請求項105】

前記同軸ヘリックスの各々は、他方に関して軸の横方向に約導体幅だけフセットされていることを特徴とする請求項104に記載のアンテナ。

【請求項106】

前記同軸ヘリックスの各々は、前記軸方向に成分を有するピッチで巻かれていることを特徴とする請求項101に記載のアンテナ。 20

【請求項107】

前記第1の端部は、互いに前記軸から実質的に等しく間隔が開けられていることを特徴とする請求項101に記載のアンテナ。

【請求項108】

前記導体の各々は、実質的に同じ長さであることを特徴とする請求項101に記載のアンテナ。

【請求項109】

導体間の間隔は、実質的に同じであることを特徴とする請求項101に記載のアンテナ。

【請求項110】

導体間の距離は、前記軸からの距離に従って増加することを特徴とする請求項109に記載のアンテナ。 30

【請求項111】

導体間の距離は、それらの長さにわたって実質的に同じであることを特徴とする請求項109に記載のアンテナ。

【請求項112】

前記導体の各々は、実質的に平らな面に一致することを特徴とする請求項111に記載のアンテナ。

【請求項113】

前記導体の各々は、円形に対称的な面に一致することを特徴とする請求項112に記載のアンテナ。 40

【請求項114】

前記導体の各々は、平坦な円形対称面に一致することを特徴とする請求項113に記載のアンテナ。

【請求項115】

前記導体の各々は、ドーム状の円形対称面に一致することを特徴とする請求項113に記載のアンテナ。

【請求項116】

前記導体の各々は、曲面の直立円形シリンダ面に一致することを特徴とする請求項113に記載のアンテナ。 50

## 【請求項 1 1 7】

前記アンテナは前記第 1 と第 2 の電位を与える RF ソースで動作するのに適合し、且つ、前記第 1 の端部及び第 2 の端部は前記 RF ソースをそれぞれ横切って前記第 1 と第 2 の電位に接続されることを特徴とする請求項 1 0 1 に記載のアンテナ。

## 【請求項 1 1 8】

前記第 1 の端部は、互いに共通面にあることを特徴とする請求項 1 0 1 に記載のアンテナ。

## 【請求項 1 1 9】

前記第 2 の端部は、互いに共通面にあることを特徴とする請求項 1 0 1 に記載のアンテナ。

## 【請求項 1 2 0】

前記第 1 の端部は第 1 の共通面上にあり、前記第 2 の端部は第 2 の共通面上にあり、且つ、前記第 1 及び第 2 の面は平行であることを特徴とする請求項 1 0 1 に記載のアンテナ。

## 【請求項 1 2 1】

前記第 1 と第 2 の面は、軸方向に互いに間隔が開けられていることを特徴とする請求項 1 2 0 に記載のアンテナ。

## 【請求項 1 2 2】

前記第 1 の端部は、前記軸上に中心が置かれた円形位置を規定することを特徴とする請求項 1 0 1 に記載のアンテナ。

## 【請求項 1 2 3】

前記第 2 の端部は、前記軸上に中心が置かれた円形位置を規定することを特徴とする請求項 1 2 2 に記載のアンテナ。

## 【請求項 1 2 4】

前記複数のセグメント化された導体は、それぞれ前記軸に関して並んで方向付けされた隣接する同軸ヘリックスを規定していることを特徴とする請求項 1 0 1 に記載のアンテナ。

## 【請求項 1 2 5】

前記同軸ヘリックスの各々は、他方に関して軸の横方向に約導体幅だけオフセットされていることを特徴とする請求項 1 2 4 に記載のアンテナ。

## 【請求項 1 2 6】

前記同軸ヘリックスの各々は、前記軸方向に成分を有するピッチで巻かれていることを特徴とする請求項 1 0 1 に記載のアンテナ。

## 【請求項 1 2 7】

RF 電力を真空チャンバへ放射するためのアンテナであって、複数の並列のセグメント化された導体を有し、その各々は第 1 の共通領域に位置した第 1 の端部と第 2 の共通領域に位置した第 2 の端部とを有し、その各々は両方の領域を通る共通の軸の周りに巻かれ、前記領域は前記軸と同軸状であり、前記導体は実質的に同じ長さ、実質的に同じ形状であり、且つ、前記共通軸の周りに互いに実質的に一様に間隔が開けられていることを特徴とするアンテナ。

## 【請求項 1 2 8】

前記第 2 の共通領域は、前記軸に関して前記第 1 の共通領域の外側にあることを特徴とする請求項 1 2 7 に記載のアンテナ。

## 【請求項 1 2 9】

前記第 1 と第 2 の共通領域は、互いに軸的に変位していることを特徴とする請求項 1 2 8 に記載のアンテナ。

## 【請求項 1 3 0】

前記第 1 と第 2 の共通領域は、重なっていることを特徴とする請求項 1 2 9 に記載のアンテナ。

## 【請求項 1 3 1】

前記領域の一方は、前記軸に関して他方の外側にあることを特徴とする請求項 1 2 9 に記載のアンテナ。

## 【請求項 1 3 2】

前記共通領域の少なくとも1つは、前記軸に直交していることを特徴とする請求項 1 2 7 に記載のアンテナ。

## 【請求項 1 3 3】

前記第1と第2の共通領域は互いに平行なそれぞれの面にあることを特徴とする請求項 1 2 7 に記載のアンテナ。

## 【請求項 1 3 4】

前記第1と第2の領域は、同一平面にあることを特徴とする請求項 1 2 7 に記載のアンテナ。

## 【請求項 1 3 5】

隣接する導体間の距離は、前記共通軸からの距離に従って増加していることを特徴とする請求項 1 2 7 に記載のアンテナ。

## 【請求項 1 3 6】

隣接する導体間の距離は、それらの長さにわたって実質的に同じに保たれていることを特徴とする請求項 1 2 7 に記載のアンテナ。

## 【請求項 1 3 7】

前記第1の端部は、前記第2の端部のそれぞれの一方と軸的に整列していることを特徴とする請求項 1 0 1 に記載のアンテナ。

## 【請求項 1 3 8】

前記導体は、長方形であることを特徴とする請求項 1 0 1 に記載のアンテナ。

## 【請求項 1 3 9】

RF電力を真空チャンバへ放射するためのアンテナであって、複数の並列のセグメント化された導体を有し、その各々は第1の共通領域に位置した第1の端部と第2の共通領域に位置した第2の端部とを有し、その各々は両方の領域を通る共通の軸の周りに巻かれ、前記領域は前記軸と同軸状であり、前記導体は実質的に同じ長さ、実質的に同じ形状であり、且つ、前記共通軸の周りに互いに実質的に一様に間隔が開けられていることを特徴とするアンテナ。

## 【請求項 1 4 0】

前記複数のセグメント化された導体は、それぞれ前記軸に関して並んで向けられた隣接する同軸ヘリックスを規定することを特徴とする請求項 1 3 9 に記載のアンテナ。

## 【請求項 1 4 1】

前記同軸ヘリックスの各々は、前記軸を横切る方向に約導体幅だけ他方に関してオフセットされていることを特徴とする請求項 1 4 0 に記載のアンテナ。

## 【請求項 1 4 2】

前記同軸ヘリックスは、軸方向の成分を有するピッチで巻かれていることを特徴とする請求項 1 3 9 に記載のアンテナ。

## 【請求項 1 4 3】

前記第2の共通領域は、前記軸に関して前記第1の共通領域の外側にあることを特徴とする請求項 1 2 9 に記載のアンテナ。

## 【請求項 1 4 4】

前記第1と第2の共通領域は、互いに軸的に変位していることを特徴とする請求項 1 2 7 に記載のアンテナ。

## 【請求項 1 4 5】

前記第1と第2の共通領域は、重なっていることを特徴とする請求項 1 4 4 に記載のアンテナ。

## 【請求項 1 4 6】

前記領域の一方は、前記共通軸に関して他方の外側にあることを特徴とする請求項 1 4 4 に記載のアンテナ。

## 【請求項 1 4 7】

前記共通軸の少なくとも1つは、前記共通軸に直交していることを特徴とする請求項 1 3 50

10

20

30

40

9に記載のアンテナ。

【請求項148】

前記第1と第2の共通領域は、互いに平行なそれぞれの面にあることを特徴とする請求項139に記載のアンテナ。

【請求項149】

前記第1と第2の領域は、同一平面にあることを特徴とする請求項139に記載のアンテナ。

【請求項150】

隣接する導体間の距離は、前記共通軸からの距離に従って増加していることを特徴とする請求項127に記載のアンテナ。

10

【請求項151】

隣接する導体間の距離は、それらの長さにわたって実質的に同じに保たれていることを特徴とする請求項127に記載のアンテナ。

【請求項152】

ワークピースを処理するためのRFプラズマリアクタであって、天井を有し、対称軸を規定する真空チャンバと、前記チャンバ内にあるワークピース支持ペDESTALと、天井の周辺領域上にある外側コイルアンテナと、天井の内側領域上にある内側コイルアンテナと、を備え、

20

前記外側コイルアンテナは、それぞれ同軸ヘリカルソレノイドの前記軸の周りに巻かれた第1の複数導体を有し、その各々はRF電力を受けるように適合されており、且つ前記内側コイルアンテナは、それぞれ同軸ヘリカルソレノイドの前記軸の周りに巻かれた第2の複数導体を有し、その各々はRF電力を受けるように適合されていることを特徴とするプラズマリアクタ。

【請求項153】

各アンテナの導体は、互いには平行であることを特徴とする請求項152に記載のプラズマリアクタ。

【請求項154】

各アンテナの導体は、インターリーブされていることを特徴とする請求項152に記載のプラズマリアクタ。

30

【請求項155】

各ヘリカルソレノイドは、前記軸の方向に互いにオフセットされていることを特徴とする請求項152に記載のプラズマリアクタ。

【請求項156】

各ヘリカルソレノイドは、約導体の幅の距離だけ他方に関してオフセットされていることを特徴とする請求項152に記載のプラズマリアクタ。

【請求項157】

各アンテナの導体は、ほぼ同じ長さ、及びほぼ同じ形状であることを特徴とする請求項152に記載のプラズマリアクタ。

40

【請求項158】

さらに、前記導体の各々の両端に接続されたRF電源を有することを特徴とする請求項152に記載のプラズマリアクタ。

【請求項159】

各アンテナの導体の各々は第1と第2の端部を規定し、前記第1の端部及び第2の端部の各々は方位的に互いに実質的に等しく間隔が開けられていることを特徴とする請求項152に記載のプラズマリアクタ。

【請求項160】

アンテナの前記第1の端部と第2の端部は、軸方向に互いに位置合わせされていることを特徴とする請求項159に記載のプラズマリアクタ。

50

## 【請求項161】

各ヘリカルソレノイドは、軸方向の成分を有するピッチで巻かれていることを特徴とする請求項156に記載のプラズマリアクタ。

## 【請求項162】

前記内側アンテナの第1の端部及び第2の端部は、前記外側アンテナの第1の端部及び第2の端部とそれぞれ軸的に位置合わせされていることを特徴とする請求項156に記載のプラズマリアクタ。

## 【請求項163】

前記外側アンテナは、前記内側アンテナの半径より大きな半径を有していることを特徴とする請求項152に記載のプラズマリアクタ。

## 【請求項164】

前記導体は長方形のパターンを有していることを特徴とする請求項139に記載のアンテナ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

## (発明の背景)

半導体のマイクロエレクトロニクス回路を製造するために使用されるプラズマリアクタは、処理ガスから形成されるプラズマを維持するためにRF誘導結合された磁界を用いることができる。このようなプラズマは、エッチング及び堆積プロセスを行なうのに有用である。一般に、高周波RFソース電力信号がリアクタチャンバの天井近くにあるコイルアンテナに与えられる。チャンバ内のベDESTAL上の半導体ウエハまたはワークピースの支持体は、そこへ与えられるバイアスRF信号を有する。コイルアンテナに供給される信号の電力は、チャンバ内のプラズマイオン密度を主に決定するが、一方、ウエハに与えられるバイアス信号の電力はウエハ表面のイオンエネルギーを決定する。このようなコイルアンテナのもつ1つの問題は、例えばアークのようなプラズマにおいて好ましくない影響を誘発する、アンテナの両端に比較的大きな電圧降下があることである。この影響は、コイルアンテナのリアクタンスが周波数に比例するので、コイルアンテナに与えられるソース電力信号の周波数が増大するに従ってより激しくなる。幾つかのリアクタにおいて、この問題は、周波数を例えば約2MHzの低い範囲に制限することによって解決される。都合の悪いことには、このような低い周波数においては、RF電力のプラズマへの結合は余り効率的でない。10MHz~20MHzの範囲の周波数で、安定した高い密度のプラズマ放電を達成することはしばしば容易である。低い周波数(例えば、2MHz)で動作する他の欠点は、インピーダンスマッチング回路網としてこれらの素子の要素の大きさは非常に大きく、従って、邪魔であるし、費用もかかる。

## 【0002】

コイルアンテナの有する他の問題は、アンテナへの効率的な誘導結合は、一般に大きな磁気フラックスの密度を形成するコイルの巻き数を増大することによって達成されることである。これは、コイルの誘導性リアクタンスを増大し、(主にプラズマ抵抗から成る)回路の抵抗が一定のままであるので、回路のQ(回路のリアクタンスと抵抗の比)が増加する。これは、変化するチャンバの状態にわたって、インピーダンスマッチングを維持するこの不安定性及び困難性を次々に導く。コイルのインダクタンスは非常に大きいので、ストレーキャパシタンスと結合して、自己共振がコイルに与えられたRF信号の周波数の近くで発生した場合に、不安定性が特に起きる。

## 【0003】

これらの問題は、「Inductively Coupled Plasma Reactor With Symmetrical Parallel Multiple Coils Having A Common RF Terminal:共通のRF端子を有する対称的な並列マルチコイルを有する誘導結合されたプラズマリアクタ」の名称で、Xue-Yu Qian他に与えられ、1999年7月6日に発行された米国特許5,919,389号に記載されているように、外側に多数インターリーブした対称的にスパイラル状

に配列された導体を有する誘導性コイルアンテナの発明によって解決されている。アンテナをインターリーブした対称的パターン内で多数の導体に分割することによって、電圧降下が減少される。何故ならば、それがアンテナの複数導体に分割されるからである。従って、ソース電力信号の周波数は、従来のコイルアンテナにおけるように制限されない。この形式のコイルアンテナは、この明細書において、“インターリーブされた”コイルアンテナと呼ばれる。このようなインターリーブされたコイルアンテナは、平坦なパンケーキ形状ばかりでなく、ドーム形状や、側壁の周りに円筒状のスカートをも有するドーム形状、またはチャンバの側壁の周りに円筒状のスカートをも有する平坦なパンケーキ形状を有するいろいろな構成として開示されている（米国特許 5,919,389号）。

#### 【0004】

チャンバの天井の上に置かれているコイルアンテナの1つの制限（従来の形式ばかりでなくインターリーブされた形式も）は、アンテナの隣接する導体間の相互インダクタンスが一般に水平方向にある（一般にRF電力がプラズマに誘導的に結合されなければならない垂直方向に直角である）ことである。これは、プラズマへのパワーデポジションの空間制御を制限する1つの重要なファクターである。本発明の目的は、誘導性結合の空間制御におけるこの制限を克服することである。

#### 【0005】

一般に、内側と外側のコイルアンテナの場合、それらは、物理的に、（それぞれの半径に限られるよりはむしろ）半径方向に、即ち水平に配置されるので、それらの半径方向の位置はそれに従って拡散される。これは、特に水平の真の“パンケーキ”形状である。従って、内側と外側アンテナ間に供給されたRF電力の相対的な配分を変えることによって、プラズマイオン分布の半径方向の分布を変える能力が制限される。この問題は、特に、大きな直径（例えば、3.00 mm）を有する半導体ウエハを処理する場合に重大である。これは、ウエハの大きさが増加するに従って、全体のウエハ表面を横切って均一なプラズマイオン密度を維持することがより困難になるからである。プラズマイオン密度の半径方向の分布は、オーバヘッドアンテナから与えられる磁界の半径方向の分布を調整することによって容易に整えられる。それはプラズマイオン密度を決定するこの磁界である。従って、ウエハの大きさが増加するに従って、印加されたRF磁界の半径方向の分布を整えるか、または調整する能力が必要である。よって、内側と外側アンテナ間に加えられたRF電力の分布の影響を増大することが必要であり、特に、内側と外側アンテナの各々を別々の、または非常に狭い半径方向の位置へ制限することによってこれを達成することが必要である。

#### 【0006】

内側と外側コイルアンテナを使用する場合に遭遇する他の問題は、一般に、外側アンテナが内側アンテナより著しく大きなインダクタンスをもっている（外側の半径の距離が長い）ため、それらは大きく異なるインピーダンスを有することである。その結果、2つのコイルのインピーダンスは同じでない。この問題は、チャンバの大きさが増加して大きな半導体ウエハを収容するに従ってより深刻である。この問題を取り巻く1つの方法は、内側と外側アンテナを駆動するために、独立したRF電源を使用することである。各々の電源がそれ自体のインピーダンスマッチング回路網を有しているので、内側と外側アンテナ間のインピーダンスの不均衡は問題ではない。しかし、2つの独立した電源を同相に保つことが困難または実際的でないので、それらのRF電流が同相または逆相でなくなるに従って、2つのアンテナによって発生されるRF磁界間の有益及び無益な干渉の発生により、望ましくない影響が発生するという他の問題が起こる。この問題は、本発明の1つの特徴に従って、異なるRF電力レベルをその2つの出力へ分配する能力を有する単一の、新規な、二重出力RF電源を用いることによる克服される。しかし、この単一のRF電源の場合、内側と外側アンテナのインピーダンス間の不均衡は、再び問題である。従って、いずれかの誘導性結合を犠牲にすることなく、内側と外側コイルのインピーダンスの少なくとも均等化を容易にすることが必要である。

#### 【0007】

10

20

30

40

50



## (発明の概要)

本発明の1つの実施の形態は、半導体ワークピースを処理するためのプラズマリアクタにおいて実現される。このリアクタは、側壁及び天井を有する真空チャンバ、チャンバ内に、一般に天井に面するワークピース支持ペダスタル、プロセスガスをチャンバへ供給することができるガス入口及び天井の上に置かれるソレノイドのインターリーブされた並列導体のコイルアンテナを含み、さらに、軸対称から少なくともほぼ一様に横に変位したそれぞれの同軸ヘリカルソレノイドにおいて天井にほぼ垂直な対称軸の周りに巻かれた第1の複数導体を含んでいる。各々のヘリカルソレノイドは、対称軸に平行な方向に他のヘリカルソレノイドからオフセットされている。RFプラズマソース電源が複数導体の両端に接続される。

10

## 【0008】

他の実施の形態において、アンテナは、天井の上に置かれ、それぞれの同軸状に並んだヘリカルソレノイドにおいて、天井にほぼ垂直な対称軸の周りに巻かれた第1の複数導体を含むソレノイドのセグメント化された並列導体コイルアンテナであり、各々のヘリカルソレノイドは、軸対称に垂直な方向に最も近い他のヘリカルソレノイドから複数導体の約導体幅の距離だけオフセットされており、それによって、各々のヘリカルソレノイドは、僅かに異なった直径を有する。

## 【0009】

いずれかの実施の形態において、リアクタは、さらに、天井の上に置かれ、第1のソレノイドのインターリーブされた並列導体コイルアンテナによって囲まれ、且つ、それより小さい横方向の大きさを有する内側アンテナを有し、それにより、第1の並列導体コイルアンテナは外側コイルアンテナとなる。1つの形態において、リアクタは、さらに、内側コイルアンテナに接続された第2のRFプラズマソース電源を有し、それにより、内側と外側アンテナに供給されるそれぞれのRF電力レベルは、内側と外側アンテナから供給されるRF磁界の半径方向の分布を制御するために差動的に調整することができる。しかし、好適な実施の形態においては、RFプラズマソース電源は、差動的に調整することができる電力レベルを有する2つのRF出力を有し、この2つのRF出力の一方は、外側アンテナに接続され、その他方は内側アンテナに接続され、それにより、内側と外側アンテナに供給されるそれぞれのRF電力レベルは、内側と外側アンテナから供給されたRF磁界の半径方向の分布を制御するために差動的に調整することができる。

30

## 【0010】

好ましくは、第1の並列複数導体の数は、第2の並列複数導体の数より大きく、且つ、それに従って、第1の並列複数導体の長さは、外側アンテナの誘導性リアクタンスを内側のアンテナのそれの少なくとも近づけるように、短くされる。

## 【0011】

また、内側アンテナが並列導体アンテナであるならば、好ましくは、第1の並列複数導体の数は、第2の並列複数導体の数より大きく、且つ、第1の並列複数導体の長さは、それに従って、第1の並列複数導体の長さは、外側アンテナの誘導性リアクタンスを内側アンテナの誘導性リアクタンスに少なくとも近づけるように、短くされる。

## 【0012】

外側アンテナの第1の複数導体の横方向の変位は、好ましくは、一様であり、且つ、内側アンテナの第2の複数導体の横方向の変位は、好ましくは、一様であり、それにより、内側と外側アンテナは、導体の厚さに相当する幅のそれぞれの狭い環状内に制限され、それにより、供給されたRF磁界の半径方向の分布に関して内側と外側アンテナの差の影響を最大にする。

40

## 【0013】

(好適な実施の形態の詳細な説明)

ソレノイドのインターリーブされたコイルアンテナ

図1を参照すると、プラズマへの誘導性結合の効率は、ソレノイドのマルチ導体のインターリーブされたコイルアンテナとしてアンテナ100を構成することによって、増大され

50

る。図示された実施の形態において、ソレノイドのアンテナ100は、垂直の真っ直ぐな円筒、または仮想の円筒状表面または位置を規定し、その対称軸は、リアクタの真空チャンバ101の対称軸と一致する。好ましくは、更に、それは処理のために受取られるワークピースの対称軸と一致する。図1において、リアクタチャンバ101は円筒上の側壁105と平坦な天井110によって画定される。ウェハ支持ペダスタル115は、リアクタチャンバ101内に設けられ、チャンバの天井に面して向けられ、チャンバの対称軸にその中心が置かれる。真空ポンプ120がチャンバの排気出口に接続される。プロセスガスの供給源125は、ガス入口130を介してプロセスガスをリアクタチャンバ内部に供給する。プロセスガスは、例えば、ポリシリコンエッチング用のハロゲン化物ガス、二酸化シリコンエッチング用のフルオロカーボンガス、またはシリコンの化学気相堆積プロセス用のシランを含むことができる。または、ガスは、例えば、金属エッチング用の塩素含有ガスを含むことができる。ガスの入り口130は、単一のパイプとして図1に示されているが、しかし実際には、より精巧な構造、例えば多数の入口を介して実現される。

#### 【0014】

アンテナからチャンバへ誘導されるRF電力の影響の下で、これらのガスはワークピースを処理するためのプラズマを支える。実行されるプラズマプロセスは、エッチングばかりでなく、適当な先駆ガスを用いる堆積、例えば化学気相堆積を含むことができる。

#### 【0015】

ペダスタル115は、インピーダンスマッチング回路網140を介してバイアスRF電源145に結合される導電性電極115aを有する。チャンバ側壁105はアルミニウムのような金属であり、一方、天井110はクォーツのような誘電体であることができる。本発明の他の実施の形態においては、天井は平坦でなく、ドーム形状またはコニカル形状であることができる。さらに、天井110は、誘電体以外の半導体であってもよい。天井の半導体材料は、それがアンテナばかりでなく電極からのRF誘導性磁界に対して窓として働くように最適な導電率を有している。この目的のために最適な導電率の決め方は、"Parallel Plate Electrode Plasma Reactor Having An Inductive Antenna Coupling Power Through a Parallel Plate Electrode: 平行板電極を介して電力を給電する誘導性アンテナを有する平行板電極プラズマリアクタ"の名称でKenneth S. Collinsに与えられ、2000年6月20日に発行された米国特許第6,077,384号に記載されている。本件の場合、天井100が電極として用いられているが、それは接地される（点線で示されている）か、またはマッチング回路網150を介してRF電源155に接続されることができる（同様に、点線で示されている）。チャンバ及び／またはアンテナは、円筒形状以外の形状を有することができ、たとえば、それは矩形であっても、正方形の断面を有していても良い。ワークピースも円形以外の形状であってもよく、例えば、それらは正方形または他の外形で良い。処理されるべきワークピースは、半導体ウェハでも良いし、またはそれらはマスクレチクルのような他のものであってもよい。

#### 【0016】

インターリーブされたソレノイドコイルアンテナ100は、如何なる数のインターリーブされた導体を含むことができる。図1の実施の形態において、コイルアンテナは、3つのインターリーブされた対称的に配置された導体160、163、166から成っている。アンテナの複数導体は、互いにほぼ平行なそれぞれのヘリカスパスに沿って置いてある。各々のヘリックスは、同じ仮想の直立円筒面にしたがって、ソレノイド構成を形成している。図示されているように、ヘリカル導体160、163、166は、垂直方向に互いに一様に離されている。より一般的には、導体は、チャンバのほぼ対称軸の方向に、互いに実質的に一様に離されている。それらの電力の入力タップ160a、163a、166aは、それぞれ、インピーダンスマッチング回路網170を介してRFプラズマソース電源175に接続されている。それらの戻りタップ160b、163b、166bは、それぞれグランドに接続（接地）されている。図示されているように、電力（入力）タップ16

0 a、163 a、166 aは、好ましくは、仮想円形の同じ水平面にあり、一様な間隔で仮想円形の周囲に沿って配置されている。3つの導体の場合、それは120度である。より一般的には、前述された面はチャンバの対称軸を横切っている。同様に、戻りタップ160 b、163 b、166 bは、同一面にあり、一様な間隔で配置されている。この実施の形態において、各々の導体160、163、166のヘリカルパスは、タップ160 a、163 a、166 aが同一平面にあるが、導体間ではほぼ一様な軸変位を実現するために軸方向に十分な傾斜を有している。他の実施の形態では、タップは同一面にある必要はない。

#### 【0017】

図1の実施の形態において、各々の導体の電力タップと戻りタップは、軸方向に整列されている（ここでは、チャンバの軸が垂直に向くように示されているので、垂直に整列されている）。例えば、導体160の電力タップ160 aと戻りタップ160 bは軸方向に整列されている。好ましくは、巻線の接地された端部は、高電位をプラズマに近づけないために、図1に示されるようにチャンバ天井に最も近づけてあり、それにより、アークが起きる傾向及び望ましくない容量性結合の影響を最小にする。

#### 【0018】

主な利点は、誘導性結合が単一導体以外の複数導体（例えば、3つの導体160、163、166）によってもたらされ、その結果誘導性結合の同じ量に対して、長さの短い導体を用いることができる。この特徴は、各々の導体に沿う電位降下を大きく減少し、容量性結合を有利に減少する。

#### 【0019】

この図示された実施の形態において、アンテナ100は、円筒状のリアクタチャンバの側壁105の対称軸の周りに対称的に配置される。従って、例えば、入力タップ160 a、163 a、166 aは、円筒形の側壁105の対称軸から及び互いに等しく間隔が開けられている。同様に、アンテナ100の下部にある出力（戻り）タップ100 b、163 b、166 bも円筒形の側壁105の対称軸から及び互いに等しく間隔が開けられている。さらに、各々の導体160、163、166は、対称軸の回りに互いに実質的に同じ間隔が開けられた実質的に同じ形状であり、また実質的に同じ長さである。好ましくは、それぞれの導体の入力と出力のタップ（例えば、入力と出力のタップ160 a、160 b）は、互いに垂直に整列されている（即ち、円筒状の側壁105の対称軸に沿っている）。

#### 【0020】

#### ソレノイドコイルがどうして良好な結合を与えるか

本発明の図示された実施の形態のソレノイドの特徴は、各々の導体セグメントが対称軸の方向にその最も近い隣の導体セグメントから離されているので、アンテナのプラズマへの結合を増加する。この方法で、導体セグメント間の相互結合へ寄与する磁力線は軸方向にあるので、それらはリアクタチャンバ内でプラズマに向かって有効に達する。従って、プラズマへの結合は、コイルがチャンバ軸に垂直な方向に相互結合を有していて、平坦である設計に比べて増加される。図1の実施の形態において、3つの導体160、136、166は、互いに軸方向に離されているので、最も近い隣の導体間の相互インダクタンスは、一般にチャンバの軸方向にある。

#### 【0021】

#### 多数のインターリーブされた導体を有する内側と外側のソレノイドコイルアンテナ

図2-4は、内側と外側ソレノイドアンテナを有するリアクタの斜視図、上面図及び縦断面図を示し、それぞれのアンテナは、図1に示された形式のインターリーブされた多数の導体を有する。内側ソレノイドアンテナ210は、2つのインターリーブされた導体215、220（図1に示された3つとは異なる）を有する。しかし、他の実施の形態では、これらのインターリーブされた導体より大きな数の導体が設けられてもよい。電力タップ（端子）215 a、220 aは、互いに180度の角度離されて配置されており、戻りタップ215 b、220 bも同様である。図1の実施の形態におけるように、図2のそれぞれの導体215、220の電力及び戻り端子は、垂直に整列されている。他の実施の形

10

20

30

40

50

態では、それらは軸整列されていなくても良い。また、図1の実施の形態におけるように、図2において、電力タップ215a、220aは軸を横切った上部面にあるが、戻りタップ215b、220bは軸を横切った下部面にある。図示された位置において、これら横切った両方の面は水平である。導体215、220の各々は、充分な傾斜を有してヘリックス状に巻かれており、電力タップ215a、220aの180度の角度離間は、図2に示された導体215、220間で軸方向のオフセットを与えるのに充分である。

#### 【0022】

外側アンテナ230は、上部水平面において120度間隔の電力タップ235a、240a、245a及び下部水平面において120度間隔の戻りタップ235b、240b、245bを有する3つのインターリーブされた平行導体235、240、245を有している。10  
プラズマイオン密度の半径方向の分布の調整を容易にするために、内側と外側アンテナ210、230のそれぞれ1つに供給された電力レベルは、別々に又は作動的に調整可能でなければならない。この目的のために、図2はそれぞれのインピーダンスマッチング回路網260、265を介して内側と外側のアンテナ210、230に結合された2つの個別のRF電源250、255を示している。個別の電源を用いる1つの問題は、それらの出力信号が同相及び逆相をさまよう傾向にあることである。代わりに、図4は内側と外側のアンテナ210、230に接続された差動的に調整可能な2つの出力を有する共通のRF電源270を示す。二重出力RF電源270は本明細書の後の方で説明される。その主な利点は、内側と外側のアンテナ210、230に供給される別々に調整可能なRF信号は同相であるが、しかし、それぞれの電力レベルは互いに関して調整することができる。20  
多重コイルアンテナの革新的な設計は、多重コイル間のインピーダンスマッチングとバランス、及び共通電源の使用を容易にする。

#### 【0023】

図4の立断面図は、内側と外側アンテナ210、230の個々の半径方向の形状が如何に天井110の小さな領域にあるかを示しており、残りの領域は、大部分の天井の上に温度制御素子の配置用の充分なスペースを提供している。特に、例えば、温度制御素子は、内側と外側アンテナ210、230の下にない部分の天井110の上面に接触して熱伝導スペース286、288を有することができる。内側のスペース286は、内側アンテナ210によって囲まれ直立固体円筒であり、一方、外側のスペースは、内側と外側アンテナ210、230によって囲まれた個体環状体である。冷却板290が熱伝導スペース286、288の上面に接して置かれ、冷却板を通して延びる冷却液が循環する冷却路292を有する。さらに、スペース286、288は、天井110に面して加熱ランプ294を収容するための中空のスペースを有することもできる。30

#### 【0024】

ソレノイドの内側／外側アンテナが如何にプラズマイオン密度の半径方向の分布の調整を増大するか

平坦な（“パンケーキ状”）形式の内側と外側アンテナは、比較的大きな水平の環状体を横切って分布されるようになるので、それらの放射電力のデポジションの“ロケーション”は個々に定義されていない。例えば、内側アンテナの外側巻線のあるものは、外側アンテナの内側巻線の近くにある。従って、内側アンテナの最も外側巻線に流れるこれらのRF電流は、外側アンテナの内側巻線の結合に影響する。同様に、外側アンテナの最も内側の巻線に流れるRF電流は、内側アンテナの外側巻線の結合に影響する。結果として、内側と外側アンテナの位置的効果は拡散され、半径方向の電力分布は、ソレノイドコイルに供給されるRF電力を単に調整することによって容易に制御することができない。これは、それらが、内側と外側アンテナに供給される電力レベル間に与えられた相違に対するRF磁界の半径方向の分布（及び、従って、プラズマイオン密度の半径方向の分布）をシフトすることができる程度減少する。40

#### 【0025】

逆に、図2-4に示された実施の形態において、複数導体がほぼ垂直方向に（即ち、より一般的には、チャンバ軸の方向に）互いにオフセットされているソレノイドの内側と外側 50

アンテナ 210、230 は、薄い導体それ自体の半径方向の幅を超える半径方向の幅を実際にもたない。これは、水平面（即ち、より一般的には、チャンバの軸を横切る面）において、内側と外側アンテナ 210、230 は、円形のラインが薄い 2 つの個々の同心円として現れていることを明らかに示している図 3 の実施の形態において最もよくわかる。従って、例えば、外側アンテナ 230 に供給される RF 電力の全てが外側アンテナの単一の個々の半径位置からチャンバへ放射するので、上述した従来のアンテナにおけるように内部の半径方向の位置で浪費されることがない。内側アンテナ 210 へ供給される RF 電力の全てが内側アンテナ 210 の単一の個別半径から放射する点で、内側アンテナについても正しい。従って、外側の半径方向の位置において浪費されることがない。結果的に、内側と外側アンテナ 210、230 の供給された電力レベルにおける相違の与えられた範囲 10 に対して、プラズマイオン密度の半径方向の分布におけるシフトとが従来の場合におけるより非常に大きいことが理解される。

#### 【0026】

この特徴は、チャンバのサイズが大きな半導体ウエハのサイズを取容するために上方に向かって大きくされるに従って、大きな利点を提供する。ウエハのサイズが大きくなるに従って、全体のウエハ表面にわたって一様なプラズマイオン密度を維持し、且つウエハ表面にわたってプラズマイオン密度の分布を調整することが困難になる。プラズマイオン密度の半径方向の分布は与えられた誘導磁界の半径方向の分布によって大部分決まる。したがって、プラズマイオン密度の半径方向の分布は、オーバヘッドアンテナから与えられる誘導磁界の半径方向の分布を調整することによって、容易に形成される。ウエハのサイズが大きくなるにしたがって、供給される RF 誘導磁界の半径方向の分布を形成し又は調整する大きな能力は、前に可能であった以上に必要とされる。この必要性は、(a) 内側と外側アンテナの各々を別々の、または非常に狭い半径方向の位置に制限することによって、及び (b) このアンテナを複数の対称に配列された導体として設けることによって、内側と外側アンテナ間に与えられた RF 電力の配分の効果を増大することによって得られる。これは、いろいろな直径のアンテナの著しく増大されたインピーダンスマッチング、及び電力配分能力に対する基礎を提供するばかりでなく、以下に詳細に説明されるように、電圧降下及び望ましくない容量性結合の影響を最小にする。 20

#### 【0027】

内側と外側アンテナのインピーダンスはどのようにマッチングされるか 30  
本明細書において上述されたように、外側アンテナ 230 の大きな寸法は、内側アンテナ 210 の導体長より長く、したがって大きな誘導性リアクタンスを示す。これは、リアクタチャンバを横切って一様な電位差を維持することにおいて問題を生じ、もし、共通の RF 電源が用いられるならば、インピーダンスのマッチング問題を生じる。本発明の 1 つの特徴は、外側アンテナと比較して、内側アンテナのインターリーブされたコイルの複数導体の長さ及び数を調整することによって、この問題を解決している。特に、外側導体は、内側導体より大きな数のそれぞれのインターリーブされた導体として与えられる。さらに、外側導体の各々は、比例して短い。内側と外側アンテナ間のインターリーブされた導体の数及び導体長の割合は、内側と外側アンテナのインピーダンス間の不均衡を減少するのに充分である。 40

#### 【0028】

従って、この問題は、外側アンテナ 230 における導体の各々のインダクタンス（長さ）を減少することによって、本発明の特徴の 1 つとして解決される。同時に生じる、外側アンテナ 230 の全体の誘導性結合の減少を避けるために、それぞれの導体の数は、内側アンテナ 210 よりも外側アンテナ 230 において多く設けられる。特に、内側アンテナ 210 が 180 度に設けられたタップを有する 2 つのみの導体を有しているのに対して、外側アンテナ 230 は、図 2-4 に示されるように、120 度毎に設けられたタップを有する 3 つの導体を有している。他のアンテナに対してより大きな数の導体は、それぞれの短い導体長を補償するために誘導結合を増大する。更に、短い導体の各々は、同様な、単一の導体アンテナの使用と比較して、非常に減少された電圧降下を示す。 50

## 【0029】

第1の一体化された実施の形態

図5は、多数のソレノイドのオーバヘッドアンテナを有する第1の一体化された実施の形態を示し、各々は複数のインターリーブされた導体を有する。内側のソレノイドアンテナ510は、180度間隔で電力タップ515a、520aを有する一対のインターリーブされた導体515、520を有する。外側のソレノイドアンテナ525は、対称軸に関して90度間隔で電力タップ530a、535a、540a、545aを有する4つのインターリーブされた導体530、535、540、545を有する。それぞれのインターリーブされた導体は、設けられたアンテナの残りの導体にほぼ平行である。内側アンテナ510の上にある内側の円形電力バス550は、内側アンテナの電力タップ515a、520aに接続されている。同様に、外側の円形電力バス552は、外側アンテナの電力タップ530a、535a、540a、545aに接続されている。外側アンテナ525の下にあり、90度間隔で設けられた4つのアーム560、562、564、566の組は、それぞれの接地されたタップを円形の接地されたハウジング570に接続する。180度間隔にある互いに反対側にある2つのアーム560、564は、内側アンテナの接地されたタップ515b、520bにそれぞれ接続され、且つ、外側アンテナの接地されたタップ530b、545bに接続されている。残りの2つの反対側にあるアーム562、566は外側アンテナの接地されたタップ535b、545bに接続されている。図5に与えられたアンテナの複数導体の各々の1つに対して、電力タップと接地されたタップは、軸方向に整列している。

## 【0030】

さらに、双方の内側と外側アンテナの電力及び接地タップは、共直線であり、軸整列している。しかし、それらは整列されている必要がない他の実施の形態が可能である。多数の導体及び対称的な設計は、それぞれのコイル内に及び多数のコイル間で、このような整列されたタップの使用を容易にし、アンテナへのRF電力の入力を非常に簡単にし、また、クロストーク、ストレーリアクタンス、及びプラズマにおける不均一性の可能性を最小にする。

## 【0031】

セグメント化され、並べられたソレノイド導体

図6A及び図6Bは、複数導体がインターリーブ（例えば、図1に示された形式におけるように）されていない単一のソレノイド導体コイルアンテナを示すが、平行に並べられた導体610、620にセグメント化されており、したがって、それぞれ並べられたセグメント化された導体からなると考えられるソレノイドアンテナを形成する。図6Bの上面図は、チャンバの軸の方向に軸に沿って配置されるか、又は図示されるように垂直配置されるよりは、むしろセグメント化された導体がどのように並べられているかを示す。与えられたアンテナのインターリーブされた実施の形態におけるように、並べられた複数導体が互いに実質的に平行なヘリカル経路に沿って軸の周りに対称的に配列されている。導体610、620の一方が他方よりやや大きなヘリカル半径を有しているので、導体610は内側のセグメントであり、導体620は外側のセグメントである。並べられた導体610、620は、単一のアンテナとして機能する。何故ならば、それらは共に接近した間隔で配置されているからである。例えば、図示された実施の形態では、それらは、導体610、620の厚さの20分の1程度以内の半径方向の距離だけ間隔が開けられている。幾つかの実現例では、この距離は、導体の厚さの30倍程度大きい、又は導体の厚さのほんの何分の1程度の小ささである。

## 【0032】

図7Aは、図6A及び図6Bに示された形式の2つのソレノイドのセグメント化され、並べられた複数導体アンテナが、図5の内側と外側アンテナの代わりに内側と外側としてどのように用いられているかを示している。図7Aにおいて、内側アンテナ710は、上部の電力タップ712a、714a及び下部の戻りタップ712b、714bを有する一対の並べられたソレノイド導体712、714から成る。外側アンテナ730は、4つの並

べられたソレノイド導体735、740、745、750から成り、各々は、内側アンテナ710の数より少ない数の導体を有している。それらの電力タップ735a、740a、745a、750aは上部にあり、それらの戻りタップ735b、740b、745b、750bは、下部にある。内側と外側アンテナ710、730は、好ましくは、それらの電力レベルが差動的に調整されるように、異なる電力の出力端子へ接続される。これは、以下に説明されるように、別々の電源または別々に又は差動的に調整可能な出力を有する共通電源を用いて達成されることができる。

#### 【0033】

図7Bは、図7Aの実施の形態における変形例を示し、図7Aの実施の形態におけるように平坦とは異なるリアクタチャンバの天井がドーム形状であり、セグメント化されたソレノイドの内側と外側アンテナが図7Bのドーム形状の天井110に沿っている。したがって、内側アンテナ710の各々のソレノイド状コイル712、714及び外側アンテナ730のそれぞれのソレノイド状コイル735、740は、コンカル状のヘリックス又はヘリカルなドーム形状に巻かれており、各々の下側巻線712、714、735、740は、コイルの上側巻線より大きな直径を有している。好ましくは、コイル712、714、735、740が巻かれる前のコンカル表面は、図7Bのドーム形状の天井110と一致している。

#### 【0034】

##### 内側と外側の平坦なコイルアンテナのチューニング

図8は、内側と外側のインターリーブされたコイルアンテナの平坦な形態は、それらのインピーダンスをマッチングに近づけるように、アンテナをチューニングするために如何に変形されるかを示している。図5の実施の形態におけるように、図8の内側アンテナは、2つのインターリーブされた導体815、820を有し、一方、外側アンテナ825は、4つのインターリーブされた導体830、835、840、845を有している。内側アンテナの電力タップ815a、820aは共通に接続され、一方、接地タップ815b、820bは180度の間隔で設けられている。外側アンテナの電力タップ830a、835a、840a、845aは90度の間隔で設けられ、外側アンテナの接地タップ830b、835b、840b、845bも同様に90度の間隔で設けられている。図5の実施の形態におけるように、図8の内側と外側アンテナはほぼインピーダンスマッチングされている。何故ならば、外側アンテナは、内側アンテナとして個々の導体の2倍多く設けられており、その長さは、外側アンテナの全体の誘導結合を犠牲にすることなくそれらのそれぞれのインダクタンスを減少するように比例して短くされているからである。

#### 【0035】

上述したように、内側と外側の多数導体アンテナ810、825間の良好なインピーダンスマッチングは、双方のアンテナのために共通の電源を用いるために、電力のプラズマへの優れた結合及びより実用的な適用を含む多くの望ましい利点を容易にする。改善されたインピーダンスマッチングの同じ原理が、ソレノイド及び平坦な形状ばかりでなく、インターリーブされ、且つセグメント化されたものを含み、形状に無関係に、それぞれが多数の導体を有する複数のアンテナを含む誘導性ソースへ適用することができる。

#### 【0036】

##### ドーム天井を有するソレノイドのインターリーブされたアンテナ

図9は、天井110がドーム形状であるプラズマリアクタが如何に図5の円筒形ソレノイドの内側と外側アンテナ510、525を有するかを示している。図9において、外側アンテナ525は、ドーム天井の外側部分に載置され、したがって、内側アンテナ510より幾らか低いレベルに設けられている。

#### 【0037】

図10は、図9の変形例を示し、外側アンテナ525は、ドーム形状の天井110の外側部分の傾斜及びほぼ垂直な表面に一致しているアンテナであるように変形されている。

#### 【0038】

図11は、図9の変形例を示し、外側巻線525のソレノイドは、断面がドーム形状の天

井 110 の表面に垂直であるように、逆コニカルの部分形状を有するアンテナであるように変形されている。

【0039】

図 12 は、図 10 の変形例を示し、内側アンテナ 510 が Q i a n 他に付与された前述の特許に記載されている形式の平坦なインターリーブされたコイルアンテナ 1200 によって置き換えられている。

【0040】

図 13 は、図 9 の変形例を示し、外側アンテナ 525 が天井 110 の上に置かれるよりもチャンバの側壁 105 を囲むように、チャンバの円筒形の側壁 105 のレベルに置かれている。

10

【0041】

平坦な天井に設けられたソレノイドのインターリーブされたアンテナ

図 14 は、天井が平坦である図 13 の変形例を示す。

図 15 は、図 14 の変形例を示し、内側アンテナが図 12 の平坦なインターリーブされた並列導体コイルアンテナ 1200 である。

【0042】

インターリーブ化とセグメント化の組合せ

図 16 は、図 1 を参照して説明したインターリーブ化及び図 6 a を参照して説明したセグメント化の両方を有する単一のソレノイド状コイルアンテナ 1600 を示す。図 16 のアンテナは、2 つのインターリーブされた並列導体 1610、1620 を有する内側のセグメント 1605 を有する。この内側のセグメント 1605 は、実質的に図 1 のインターリーブされたソレノイドコイルの 2 つの導体の例である。図 16 のアンテナは、さらに、内側セグメント 1605 を囲む外側セグメント 1630 を有する。また、外側のセグメントも、2 つのインターリーブされた並列導体 1640、1650 を有する。外側セグメント 1630 も図 1 のインターリーブされたソレノイドコイルの 2 つの導体の例である。図 16 における導体のそれぞれの上端は電力タップであり、それらの全てがインピーダンスマッチング回路網 1660 を介して RF 電源 1670 に接続されている。図 16 における導体のそれぞれの下端は、グランドに接続される戻りタップである。

【0043】

図 17 は、外側アンテナ 525 が図 16 のアンテナ 1600 で置き換えられているほかは、図 5 の実施の形態と同様の本発明の他の実施の形態を示す。図 17 の内側アンテナ 510 は、図 5 を参照して説明したものと同一である。

【0044】

図 17 は、図 16 の縦断面図よりアンテナ 1600 の詳細な図を与える斜視図である。図 17 は、内側セグメント導体 1610 の電力及び接地タップ 161a、1610b が垂直に整列され、且つ内側セグメントの他の内側アンテナ導体 1620 の垂直に整列された電力と接地タップ 1620a、1620b から 180 度だけオフセットされていることを示す。同様に、外側セグメントの導体 1640 の電力と接地タップ 1640a、1640b が垂直に整列され、且つ外側セグメントの他の導体 1650 の垂直に整列された電力と接地タップ 1650a、1650b から 180 度だけオフセットされていることを示す。さらに、内側セグメント 1605 のタップは、外側セグメント 1630 のタップに対して 90 度の位置に配置されている。

【0045】

内側アンテナ 510 の上にある内側環状電力バス 1750 は、内側アンテナ 510 の電力タップの各々に RF 電力を供給する。外側アンテナの内側と外側セグメント 1605、1630 の両方の上にある外側環状電力バス 1760 は、セグメント 1605、1630 の電力タップの各々に RF 電力を供給する。

【0046】

複数の差動的に調整可能な出力を有する RF 電源

少なくとも 2 つの差動的に調整可能な電力出力を有する RF 電源は、この明細書において

50



前述されており、"Inductively Coupled Plasma Source with Controllable Power Deposition" の名称で、Barnes 他によって2000年4月6日に出願され、出願中の米国特許出願第09/544,377に記載されている。この記載は、レファレンスによってここに取り込まれる。図18は、二重出力を有するこのような電源の1つの実施の形態を示す。図18において、RF電源1800は、インピーダンスマッチング回路網1815を介して直列キャパシタ1820と可変並列キャパシタ1825に接続されたRF発生器1810を有する。電源1800の第1のRF出力端子1830はマッチング回路網1815と直列キャパシタ1820間に接続され、一方、第2のRF出力端子1840は、直列キャパシタ1820の反対側に接続される。可変並列キャパシタ1825を調整することは、その調整に依存して、多くの電力を一方の出力端子又は他方の出力端子へ配分する。したがって、2つの出力端子における電力レベルは、差動的に調整できる。図18に示されるように、第1の出力端子1830は、内側アンテナに接続され、一方、他方の出力端子1840は図5の外側アンテナに接続される。図19において、端子1830、1840は図7の内側と外側のセグメント化された並列導体アンテナ710、130にそれぞれ接続されている。図20において、出力端子1830、1840は、図8の内側と外側のインターリーブされたコイルアンテナ810、825にそれぞれ接続されている。より一般的には、図18の二重出力電源は、内側アンテナに接続された端子1830及び外側アンテナに接続された端子1840を有する内側と外側アンテナを有するあらゆるプラズマリアクタで用いられることができる。これは、図9乃至図15を参照して上述した外側と内側アンテナを有するリアクタのそれぞれに当てはまる。

#### 【0047】

電源は、2つより多くのアンテナを有するリアクタと共に使用する2つより多い差動的に調整可能な出力を有することもできる。例えば、図21は、3つのアンテナ、即ち、内側アンテナ2110、中間アンテナ2120、及び外側アンテナ2130を有するリアクタを示す。これら3つのアンテナの各々は、適当なコイルアンテナのいずれの形式、例えば、平坦なまたはソレノイド状の単一導体コイルアンテナ、平坦又はフレノイド状のインターリーブされた並列導体アンテナ、ソレノイド状のセグメント化された並列導体アンテナ、又は前述の形式の異なるものの組合せであってもよい。しかし、図21の実施の形態では、内側アンテナ2110は、図2のソレノイド状のインターリーブした並列導体アンテナであり、中間アンテナ2120は、図16のセグメント化され、インターリーブされた並列導体アンテナ1600である。さらに、外側アンテナ2130は、図16のセグメント化され、インターリーブされた並列導体アンテナ1600の大きな変更である。

#### 【0048】

図22は、3つのプラズマリアクタ、例えば21図の3つのアンテナのあるプラズマリアクタと共に使用する3つの差動的に調整可能な出力端子を有するRF電源を示す。図22のRF電源は、マッチング回路網2215、第1と第2の直列キャパシタ2220、2230、及び第1と第2の可変並列キャパシタ2240、2250を有するRF電力発生器2210を示す。第1の可変並列キャパシタ2240は、第1の直列キャパシタと接地の双方に接続され、また第2の可変並列キャパシタ2250は、第2の直列キャパシタ2230と接地の双方に接続される。第1の出力端子2260は、マッチング回路網2215と第1の直列キャパシタ2220の間に接続される。第2の出力端子2265は、第1の並列キャパシタ2240と第2の直列キャパシタ2230の間に接続される。第3の出力端子2270は、第2の直列キャパシタ2230の他方の側に接続される。好ましくは、第1の出力端子2260は、図21の内側アンテナ2110の電力タップに接続され、第2の出力端子2265は中間アンテナ2120の電力タップに接続され、及び第3の出力端子2270は、外側アンテナ2130の電力タップに接続される。

#### 【0049】

図23は、図22の3端子RF電源の変形を示し、第1の直列及び並列キャパシタ2220、2240は、第2の直列及び並列キャパシタ2230、2250に並列に接続される

## 【0050】

実際に、可変並列キャパシタ2240、2250は、供給されたRF磁界またはプラズマイオン密度の所望の半径方向の分布が得られるまで、内側、中間及び外側アンテナへ異なるRF電力レベルを分配するように調整される。得られるべき特定の半径方向の分布は行われているプロセスに依存する。例えば、あるプロセスは一様な分布を必要とする。他のプロセス、例えば、アルミニウムのエッチングは、供給されるRF磁界の適当な不均一な半径方向の分布を選択することによって補償されるウエハ表面にわたって不均一なガスまたはイオン分布を生成する。この選択は、可変並列キャパシタ2230、2250の調整により達成される。

10

## 【0051】

図24は、図1の実施の形態の変形を示し、コイル導体160、163、166を含むコイルアンテナ100が図1の実施の形態におけるように円形とは異なって対称軸の周りである矩形である。この実施の形態は、平坦なパネルディスプレイ等処理するのにより良く適合される。

## 【0052】

開示された実施の形態の利点

プラズマリアクタの性能を低下させたこの分野の多くの問題は今解決された。本発明のソレノイドの特徴は、各々の導体セグメントがほぼ軸方向にその最も近い隣にある導体セグメントから置き換えられているので、アンテナの効率を増加する。この方法で、導体セグメント間の相互結合に寄与することができる磁力線は、垂直方向にあるので、それらはリアクタチャンバ内のプラズマへ向かって有利に到達する。したがって、プラズマへの結合は、コイルがチャンバ軸に垂直な方向で相互結合している平坦である設計に対して増大される。

20

## 【0053】

垂直なソレノイドのインターリーブされた複数導体の内側と外側アンテナは、薄い導体自体の幅を超えて殆ど半径方向の幅をもたない。したがって、例えば、外側アンテナへ供給されるRF電力の大部分は、外側アンテナの単一の個々の半径からチャンバへ放射するので、上述した従来のアンテナにおけるように内部の半径方向の位置において“浪費”されない。内側アンテナに供給されるRF電極の大部分が内側アンテナの単一の個々の半径から放射する点において内側アンテナについては正しい。従って、外側の半径方向の位置において浪費されることがない。結果的に、内側と外側アンテナに関して供給される電力レベルの相違の与えられた範囲に対して、プラズマイオン密度の半径方向の分布において従来の場合に可能であるより非常に大きなシフトが実現される。

30

## 【0054】

本発明のこの特徴は、非常に大きなウエハ表面にわたって均一な及び／又は調整可能なプラズマイオン分布を与える点において特に有利である。したがって、チャンバサイズは、内側と外側アンテナ構造を用いて、大きな直径のウエハまで容易に大きくできる。更に、非常に大きな数のアンテナ、例えば内側と外側アンテナ間に中間アンテナを用いることによって、非常に大きなものが得られる。

40

## 【0055】

内側と外側アンテナのインピーダンス間の不均衡の問題は、内側と外側アンテナのインターリーブされたコイルにおける複数導体の長さおよび数を調整することによって克服される。外側アンテナは、内側アンテナより多くの数のインターリーブされた導体にセグメント化される。さらに、外側アンテナの各々の導体は、それに比例して短い。内側と外側アンテナ間のインターリーブされた導体の数及び導体の長さの割合は、内側と外側アンテナのインピーダンス間の不均衡を減少するのに充分である。従って、この問題は、内側アンテナに対して外側アンテナのそれぞれの導体のインダクタンス（長さ）を減少することによって解決される。外側アンテナの全体の誘導性結合における付随の減少を避けるために、内側アンテナより非常に多くの個々の導体が外側アンテナに設けられる。非常に大きな

50

数の個々のアンテナは、外側アンテナの短くされた導体の長さを補償するために誘導性結合を増大する。内側と外側アンテナがマッチングされ、またはほぼマッチングされることについては、両方のアンテナを駆動する共通の電源がインピーダンスマッチングの問題に遭遇することなく用いられることができる。本発明の図示された実施の形態は、プラズマイオン密度の半径方向の分布の調整を可能にする差動的に調整可能な電力レベルを有する多重出力の共通電源を用いる。

【0056】

インターリーブされた複数導体アンテナに変わるものとして、セグメント化された複数導体アンテナは、インターリーブされた導体アンテナの利点を有しており、ソレノイドまたはドーム形状を有する上述したいろいろな形状において実現される。更に、セグメント化された形状は、上述され、図示された実施の形態にしたがってインターリーブされた形状と組合されることができる。

【0057】

上述されたソレノイドのインターリーブされ、セグメント化された導体アンテナは、好ましくは、一方の面（例えば、上部）に共通面の電力タップ、及び他方の面（例えば、下部）に共通面の戻りタップを有する。与えられたアンテナの複数導体のそれぞれ1つに対して、その電力タップと戻りタップが垂直に整列（または、より一般的にはコイルアンテナの軸に沿って整列）されるのが有利であり、したがって、アンテナの形状を有利に簡単化することができる。

【0058】

したがって、第1に、前述の利点の幾つか及び実際には全てが同じプラズマソースにおいて同時に与えられる。

【0059】

本発明は、図示された実施の形態を特に参照することによって詳細に説明されたが、それらの変形や変更は、本発明の真の精神及び範囲から逸脱することなく行われることができることを理解されるべきである。

【図面の簡単な説明】

【図1】

単一の、ソレノイドのインターリーブされた複数導体コイルアンテナを有する本発明の第1の実施の形態を示す。

【図2】

内側と外側ソレノイドのインターリーブされた複数導体コイルアンテナを有する本発明の第2の実施の形態の斜視図を示す。

【図3】

内側と外側ソレノイドのインターリーブされた複数導体コイルアンテナを有する本発明の第2の実施の形態の上面図を示す。

【図4】

内側と外側ソレノイドのインターリーブされた複数導体コイルアンテナを有する本発明の第2の実施の形態の断面図を示す。

【図5】

内側と外側ソレノイドのインターリーブされた導体コイルアンテナを有する本発明の第1の好適な実施の形態の斜視図を示す。

【図6A】

単一の、ソレノイドのセグメント化された複数導体コイルアンテナを有する本発明の他の実施の形態の斜視図を示す。

【図6B】

単一の、ソレノイドのセグメント化された複数導体コイルアンテナを有する本発明の他の実施の形態の上面図を示す。

【図7A】

内側と外側ソレノイドのセグメント化された導体アンテナを有する本発明の他の実施の形

10

20

30

40

50

態を示す。

【図7B】

コイルアンテナがドーム形状と一致する、図7Aの本発明の実施の変形例を示す。

【図8】

外側の平坦なインターリーブされた導体コイルアンテナを含み、その導体の長さが内側コイルアンテナのインピーダンスをほぼマッチングするように同調されている本発明の他の実施の形態を示す。

【図9】

リアクタチャンバのドーム形状の天井を有するプラズマリアクタと共に、ソレノイドの、インターリーブされた導体コイルアンテナの1つの形状を示す。

10

【図10】

リアクタチャンバのドーム形状の天井を有するプラズマリアクタと共に、ソレノイドの、インターリーブされた導体コイルアンテナの他の形状を示す。

【図11】

リアクタチャンバのドーム形状の天井を有するプラズマリアクタと共に、ソレノイドの、インターリーブされた導体コイルアンテナの他の形状を示す。

【図12】

リアクタチャンバのドーム形状の天井を有するプラズマリアクタと共に、ソレノイドの、インターリーブされた導体コイルアンテナの他の形状を示す。

【図13】

リアクタチャンバのドーム形状の天井を有するプラズマリアクタと共に、ソレノイドの、インターリーブされた導体コイルアンテナの更に他の形状を示す。

20

【図14】

平坦なチャンバの天井を有するプラズマリアクタと共に、ソレノイドのインターリーブされた複数導体コイルアンテナの1つの形状を示す。

【図15】

平坦なチャンバの天井を有するプラズマリアクタと共に、ソレノイドの、インターリーブされた複数導体コイルアンテナの他の形状を示す。

【図16】

単一のソレノイドコイルアンテナにおける複数導体のインターリーブ化とセグメント化を組合せた本発明の実施の形態を示す。

30

【図17】

外側アンテナがインターリーブ化とセグメント化された導体を有する図16に示された形式のソレノイドコイルアンテナである、内側と外側コイルアンテナを有する本発明の好適な実施の形態を示す。

【図18】

図5の内側と外側コイルアンテナにそれぞれ接続された差動調整可能な2つの出力を有する単一電源を示す。

【図19】

図7の内側と外側コイルアンテナに接続された図18の二重出力を有する電源を示す。

40

【図20】

図8の内側と外側コイルアンテナにそれぞれ接続された図18の二重出力を有する電源を示す。

【図21】

内側、中間、及び外側のソレノイドの複数導体コイルアンテナを有する本発明の他の実施の形態を示す。

【図22】

図21のリアクタと共に使用するための差動的に調整可能な三重出力を有する電源の第1の実施の形態を示す。

【図23】

50

図21のリアクタと共に使用するための差動的に調整可能な三重出力を有する電源の第2の実施の形態を示す。

【図24】

コイルアンテナが円形以外の方形である図1の他の実施の形態を示す。

【図1】

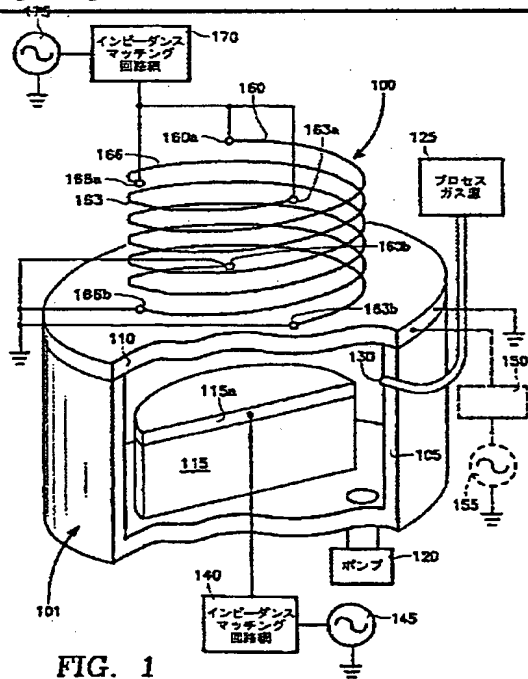


FIG. 1

【図2】

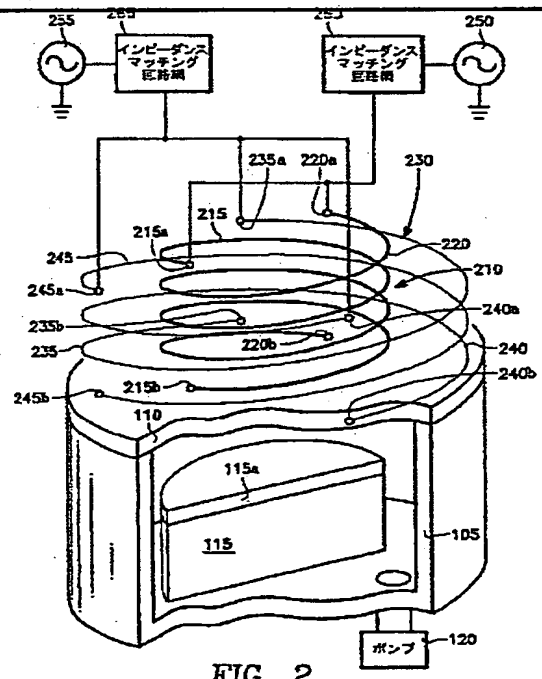


FIG. 2



【図 19】

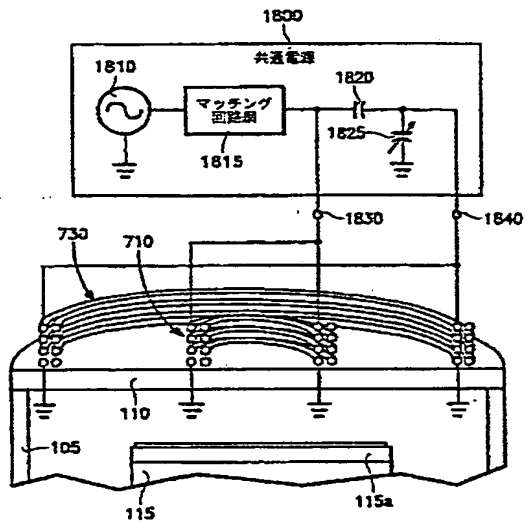


FIG. 19

【図 20】

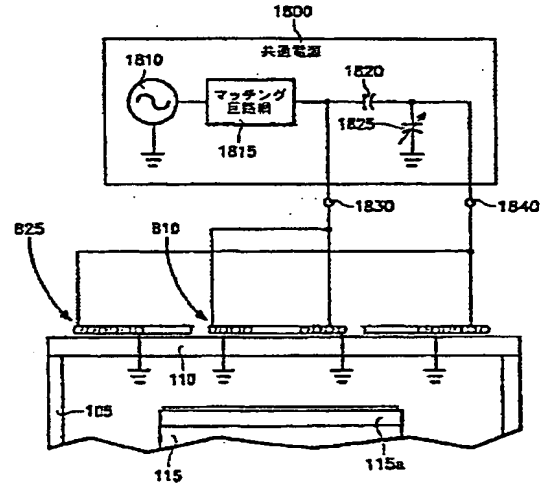


FIG. 20

【図 21】

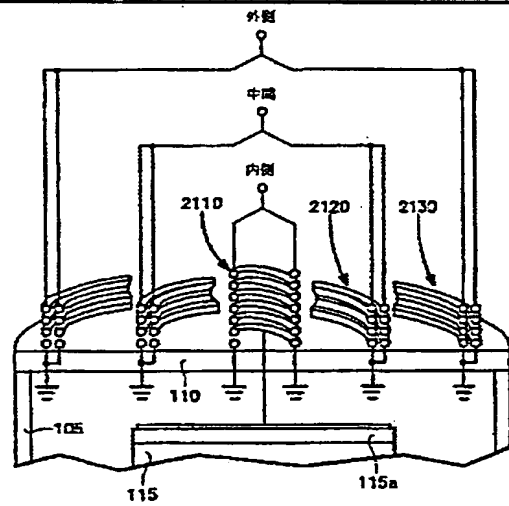


FIG. 21

【図 22】

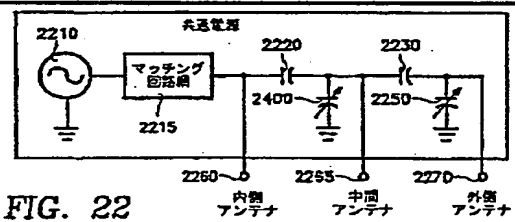


FIG. 22

【図 23】

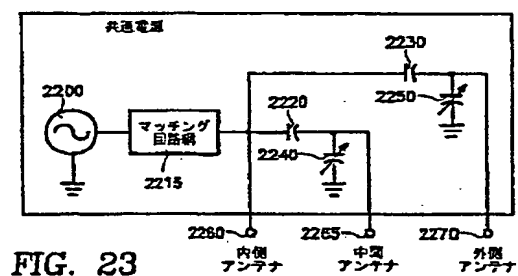


FIG. 23

【図 24】

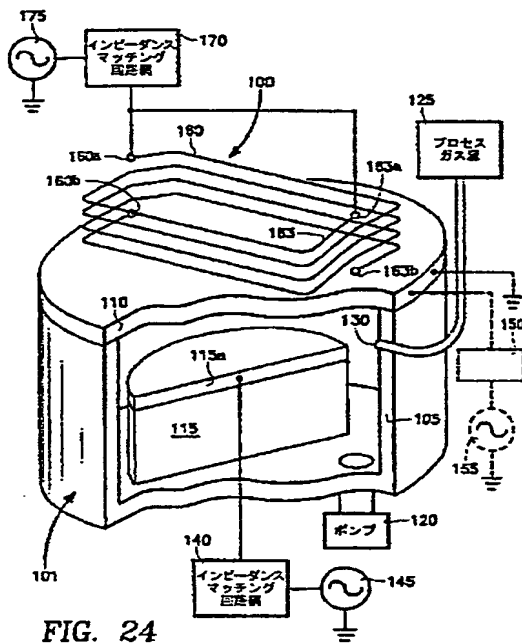


FIG. 24



## 【国際公開パンフレット】

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization  
International Bureau

INTERNATIONAL PUBLICATION NUMBER

(43) International Publication Date  
17 January 2002 (17.01.2002)

PCT

(10) International Publication Number  
WO 02/05308 A2

- (51) International Patent Classification<sup>1</sup>: H01L 37/00  
3300 Wireless Circuits 6202, Fremont, CA 94538 (US);  
BARNES, Michael, 1221 Santa Teresa Drive, San Ramon,  
CA 94583 (US).
- (52) International Application Number: PCT/US97/00717
- (53) International Filing Date: 25 June 2001 (29.06.2001)
- (54) Agents: BERNADACOU, Michael, A. et al. Bachel,  
Schubert, Taylor & Zafren LLP, 13400 Wilshire Boul-  
vard, 7th Floor, Los Angeles, CA 90025 (US).
- (55) Filing Language: English
- (56) Designated State (article 17): JP
- (57) Publication Language: English
- (58) Designated States (article 17): European patent (AT, BE,  
CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LI, MC,  
NL, PT, SE, TR)
- (59) Priority Date:  
02/06/2000 04.07.2000 US  
02/06/2000 06.07.2000 US  
02/06/2000 08.07.2000 US  
02/06/2000 10.07.2000 US  
02/06/2000 12.07.2000 US
- (60) Applicant: APPLIED MATERIALS, INC. (US);  
P.O. Box 450A, Santa Clara, CA 95051 (US).
- (71) Inventor: HOLLAND, John, 1505 Calaveras Avenue,  
San Jose, CA 95128 (US); TODORDAN, Valentin, N.
- For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guide-  
ance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the begin-  
ning of each regular issue of the PCT Gazette.

WO 02/05308 A2 (64) Title: A PLASMA REACTOR HAVING A SYMMETRIC PARALLEL CONDUCTOR COIL ANTENNA

(57) Abstract: The invention in one embodiment is realized in a plasma reactor for processing a semiconductor wafer. The reactor includes a vacuum chamber having a side wall and ceiling, a workpiece support pedestal within the chamber and generally facing the ceiling, a gas inlet capillary of a networked parallel conductor coil antenna overlying the ceiling and including a first primary conductor wound about an axis of symmetry generally perpendicular to the ceiling in respective concentric helical solenoids of increasing radius from the axis of symmetry, each helical solenoid being offset from the axis of symmetry in a direction parallel to the axis of symmetry. A RF plasma power supply is connected across each of the parallel conductors. In another embodiment, the antenna is a solenoidal segmented parallel conductor coil antenna overlying the ceiling and including a first primary conductor wound about an axis of symmetry generally perpendicular to the ceiling in respective concentric side-by-side helical solenoids, each helical solenoid being offset by a distance on the order of a conductor width of the primary of conductors from the nearest other helical solenoid in a direction perpendicular to the axis of symmetry, whereby each helical solenoid has slightly different diameter.

WO 02/53308

PCT/US01/20717

A PLASMA REACTOR HAVING A SYMMETRIC  
PARALLEL CONDUCTOR COIL ANTENNA

Inventors: John Holland, Valentin Todorov, and Michael Barnes

BACKGROUND OF THE INVENTION

Plasma reactors used to fabricate semiconductor microelectronic circuits can employ RF inductively coupled fields to maintain a plasma formed from a processing gas. Such a plasma is useful in performing etch and deposition processes. Typically, a high frequency RF source power signal is applied to a coil antenna near the reactor chamber ceiling. A semiconductor wafer or workpiece support on a pedestal within the chamber has a bias RF signal applied to it. The power of the signal applied to the coil antenna primarily determines the plasma ion density within the chamber, while the power of the bias signal applied to the wafer determines the ion energy at the wafer surface. One problem with such a coil antenna is that there is a relatively large voltage drop across the coil antenna, which can induce unfavorable effects in the plasma such as arcing. This effect becomes more acute as the frequency of the source power signal applied to the coil antenna is increased, since the reactance of the coil antenna is proportional to frequency. In some reactors, this problem is addressed by limiting the frequency to a low range such as about 2 MHz. Unfortunately, at such lower frequencies, the coupling of RF power to the plasma can be less efficient. It is often easier to achieve a stable high density plasma discharge at frequencies in the range of 10 MHz to 20 MHz. Another disadvantage of operating at the lower frequency range (e.g., 2 MHz) is that the component size of such elements as the impedance match network are much larger and therefore more cumbersome and costly.

Another problem with coil antennas is that efficient inductive coupling to the plasma is generally achieved by increasing the number of turns in the coil which creates a larger the magnetic flux density. This increases the inductive reactance of the coil, and, since the

WO 02/05308

PCT/US91/20717

circuit resistance (consisting primarily of the plasma resistance) remains constant, the circuit  $Q$  (the ratio of the circuit reactance to resistance) increases. This in turn leads to instabilities and difficulties in maintaining an impedance match over varying chamber conditions. Instabilities arise particularly where the coil inductance is sufficiently great so that, in combination with stray capacitance, self-resonance occurs near the frequency of the RF signal applied to the coil. Thus, the inductance of the coil must be limited in order to avoid these latter problems.

These problems have been largely solved by the invention of an inductive coil antenna having multiple interleaved symmetrically arranged conductors spiraling outwardly as set forth in U.S. Patent No. 5,919,389, issued July 6, 1999 to Xiao-Ya Qian et al., entitled "Inductively Coupled Plasma Reactor With Symmetrical Parallel Multiple Coils Having A Common RF Terminal". By dividing the antenna into multiple conductors in an interleaved symmetric pattern, the voltage drop is reduced because it is divided among plural conductors of the antenna. Thus, the frequency of the source power signal is not restricted as in a conventional coil antenna. This type of coil antenna is referred to in this specification as an "interleaved" coil antenna. Such an interleaved coil antenna is disclosed in various configurations including a flat pancake shape as well as a dome shape or a dome shape with a cylindrical skirt around the side walls or a flat pancake shape with cylindrical skirts around the chamber side wall (U.S. Patent No. 5,919,389).

One limitation of coil antennas overlying the chamber ceiling (both conventional as well as the interleaved type) is that the mutual inductance between adjacent conductors in the antenna is generally in a horizontal direction—generally orthogonal from the vertical direction in which RF power must be inductively coupled to the plasma. This is one important factor that limits the spatial control of the power deposition to the plasma. It is a goal of the present invention to overcome this limitation in the spatial control of the inductive coupling.

WO 02/05308

PCT/US91/00717

Typically with "inner" and "outer" coil antennas, they physically are distributed radially or horizontally (rather than being confined to a discrete radius) so that their radial location is diffused accordingly. This is particularly true of the horizontal "pancake" configuration. Thus, the ability to change the radial distribution of plasma ion distribution by changing the relative apportionment of applied RF power between the inner and outer antennas is limited. This problem is particularly significant in processing semiconductor wafers with larger diameters (e.g., 300 mm). This is because as the wafer size increases, it becomes more difficult to maintain a uniform plasma ion density across the entire wafer surface. The radial distribution of plasma ion density can be readily sculpted by adjusting the radial distribution of the applied magnetic field from the overhead antenna. It is this field which determines plasma ion density. Therefore, as wafer size increases, a greater ability to sculpt or adjust the radial distribution of the applied RF field is required. Accordingly, it would be desirable to enhance the effect of the apportionment of applied RF power between the inner and outer antennas, and in particular to accomplish this by confining each of the inner and outer antennas to discrete or very narrow radial locations.

Another problem encountered with the use of inner and outer coil antennas is that the outer antenna typically has a significantly greater inductance than the inner antenna (because of the longer distances at the outer radii), so that they have vastly different impedances. As a result, the impedances of the two coils are not similar. This problem is more acute as the chamber size increases to accommodate the trend toward larger semiconductor wafers. One way around this problem is to use independent RF power sources to drive the inner and outer antennas. Since each power source has its own impedance match network, a disparity between the impedances of the inner and outer antennas is not a problem. However, another problem arises in that it is difficult or impractical to keep the two independent power sources in phase, so that undesirable effects arise due to the occurrence of constructive and destructive interference between the RF magnetic fields generated by the two antennas as their RF currents wander in and out of phase. This problem is overcome in accordance with one aspect of the invention by employing a novel dual output RF power source having the ability to apportion different RF power levels to its two outputs. However, with such a

WO 02/05308

PCT/US91/0717

single RF source, the disparity between the impedances of the inner and outer antennas is again a problem. It would therefore be desirable to facilitate at least near equalization of the impedances of the inner and outer coils without sacrificing the inductive coupling of either.

#### SUMMARY OF THE DISCLOSURE

One embodiment of the invention is realized in a plasma reactor for processing a semiconductor workpiece, the reactor including a vacuum chamber having a side wall and a ceiling, a workpiece support pedestal within the chamber and generally facing the ceiling, a gas inlet capable of supplying a process gas into the chamber and a solenoidal interleaved parallel conductor coil antenna overlying the ceiling and including a first plurality of conductors wound about an axis of symmetry generally perpendicular to the ceiling in respective concentric helical solenoids of at least nearly uniform lateral displacements from the axis of symmetry, each helical solenoid being offset from the other helical solenoids in a direction parallel to the axis of symmetry. A RF plasma source power supply is connected across each of the plural conductors.

In another embodiment, the antenna is a solenoidal segmented parallel conductor coil antenna overlying the ceiling and including a first plurality of conductors wound about an axis of symmetry generally perpendicular to the ceiling in respective concentric side-by-side helical solenoids, each helical solenoid being offset by a distance on the order of a conductor width of the plurality of conductors from the nearest other helical solenoids in a direction perpendicular to the axis of symmetry, whereby each helical solenoid has slightly different diameter.

In either embodiment, the reactor may further include an inner coil antenna overlying the ceiling and surrounded by and having a lateral extent less than the first solenoidal interleaved parallel conductor coil antenna, whereby the first parallel conductor coil antenna is an outer coil antenna. In one implementation, the reactor further includes a second RF plasma source power supply connected to the inner coil antenna whereby the respective RF

a

WO 02/05308

PCT/US91/00717

power levels applied to the inner and outer antennas are differentially adjustable to control radial distribution of the applied RF field from the inner and outer antennas. However, in a preferred implementation, the RF plasma source power supply includes two RF outputs having differentially adjustable power levels, one of the two RF outputs being connected to the outer antenna and the other being connected to the inner antenna, whereby the respective RF power levels applied to the inner and outer antennas are differentially adjustable to control radial distribution of the applied RF field from the inner and outer antennas.

Preferably, the number of the first plurality of parallel conductors is greater than the number of the second plurality of parallel conductors and the lengths of the first plurality of parallel conductors are shortened accordingly, so as to bring the inductive reactance of the outer antenna at least nearer that of the inner antenna.

If the inner antenna is also a parallel conductor antenna, then preferably the number of the first plurality of parallel conductors is greater than the number of the second plurality of parallel conductors and the lengths of the first plurality of parallel conductors are shortened accordingly, so as to bring the inductive reactance of the outer antenna at least nearer that of the inner antenna.

The lateral displacements of the first plurality of conductors of the outer antenna preferably are uniform and the lateral displacements of the second plurality of conductors of the inner antenna preferably are uniform, whereby the inner and outer antennas are confined within respective narrow zones of widths corresponding to the thickness of the conductors, whereby to maximize the differential effect of the inner and outer antennas on the radial distribution of applied RF field.

#### BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

FIG. 1 illustrates a first embodiment of the invention having a single solenoidal interleaved plural conductor coil antenna.

5

WO 02/05308

PCT/US99/0717

FIGS. 2, 3 and 4 are perspective, top and elevational views, respectively, of a second embodiment of the invention having inner and outer solenoidal interleaved plural conductor coil antennas.

FIG. 5 is a perspective view of a first preferred embodiment of the invention having inner and outer solenoidal interleaved conductor coil antennas.

FIGS. 6A and 6B are perspective and top views, respectively, of another embodiment of the invention having a single solenoidal segmented plural conductor coil antenna.

FIG. 7A illustrates a further embodiment of the invention having inner and outer solenoidal segmented conductor antennas.

FIG. 7B illustrates a modification of the embodiment of FIG. 7A in which the coil antennas conform with a dome shape.

FIG. 8 illustrates yet another embodiment of the invention including an outer flat interleaved conductor coil antenna whose conductor lengths are tuned to more nearly match the impedance of the inner coil antenna.

FIGS. 9-13 illustrate various configurations of solenoidal interleaved conductor coil antennas with plasma reactors having dome-shaped reactor chamber ceilings.

FIGS. 14 and 15 illustrate various configurations of solenoidal interleaved plural conductor coil antennas with plasma reactors having flat reactor chamber ceilings.

FIG. 16 illustrates an embodiment of the invention combining interleaving and segmenting of plural conductors in a single solenoidal coil antenna.

6

WO 02/05308

PCT/US91/00717

FIG. 17 illustrates a preferred embodiment of the invention having inner and outer coil antennas, in which the outer antenna is a solenoidal coil antenna of the type illustrated in FIG. 16 having interleaved and segmented conductors.

FIG. 18 illustrates a single power source having dual differentially adjustable outputs connected respectively to the inner and outer coil antennas of FIG. 5.

FIG. 19 illustrates dual output power source of FIG. 18 connected to the inner and outer coil antennas of FIG. 7.

FIG. 20 illustrates the dual output power source of FIG. 18 connected respectively to the inner and outer coil antennas of FIG. 8.

FIG. 21 illustrates a further embodiment of the invention having inner, intermediate and outer solenoidal plasma conductor coil antennas.

FIG. 22 illustrates a first embodiment of a differentially adjustable three-output RF power source for use with the reactor of FIG. 21.

FIG. 23 illustrates a second embodiment of a differentially adjustable three-output RF power source for use with the reactor of FIG. 21.

FIG. 24 illustrates a version of the embodiment of FIG. 1 in which the coil antenna is rectangular rather than circular.

#### DETAILED DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENTS

##### Solenoidal Interleaved Coil Antenna

Referring to FIG. 1, efficiency of inductive coupling to the plasma is enhanced by constructing the antenna 100 as a solenoidal multi-conductor interleaved coil antenna. It



WO 02/05328

PCT/US91/20717

the illustrated embodiment, the solenoidal antenna 100 defines a vertical right circular cylinder or imaginary cylindrical surface or locus whose axis of symmetry coincides with that of the reactor vacuum chamber 101. It preferably further coincides with the axis of symmetry of a workpiece which may be accepted for processing. In FIG. 1, the reactor chamber 101 is defined by a cylindrical side wall 105 and a flat ceiling 110. A wafer support pedestal 115 is provided within the reactor chamber 101, oriented in facing relationship to the chamber ceiling and centered on the chamber axis of symmetry. A vacuum pump 120 cooperates with an exhaust outlet of the chamber. A process gas supply 125 furnishes process gas into the reactor chamber interior through a gas inlet 130. The process gas may contain a halide gas for polysilicon etching, a fluorocarbon gas for silicon dioxide etching, or silane gas for a silicon chemical vapor deposition process, for example. Or, the gas may contain a chlorine-bearing gas for metal etching, for example. The gas inlet 130 is illustrated in FIG. 1 as a single pipe but in practical applications may be implemented through more elaborate structures such as multiple inlets.

Under the influence of RF power induced into the chamber from the antenna, such gases will support a plasma for processing the workpiece. Plasma processes which may be performed can include not only etch, but also deposition such as chemical vapor deposition, with the use of suitable precursor gases.

The pedestal 115 includes a conductive electrode 115a coupled through an impedance match network 140 to a bias RF power source 145. The chamber side wall 105 may be a metal such as aluminum while the ceiling 110 may be a dielectric such as quartz. In other embodiments of the invention, the ceiling 110 is not flat but may be dome shaped or conical. Moreover, the ceiling 110 may be a semiconductor rather than a dielectric, the semi-conductive material of the ceiling 110 being of an optimum conductivity which enables it to act as a window to the RF inductive field from the antenna 100 as well as an electrode. How to determine the optimum conductivity for this purpose is disclosed in U.S. Patent No. 6,077,384, issued June 20, 2000 to Kenneth S. Collins entitled "Parallel Plate Electrode Plasma Reactor Having An Inductive Antenna Coupling Power Through a Parallel Plate

WO 02/65308

PCT/US01/07117

Electrode". In this case, where the ceiling 100 may be employed as an electrode, it may be grounded (as indicated in dashed line) or may be connected through a match network 150 to an RF power source 155, also indicated in dashed line. The chamber and/or antenna may have a shape other than cylindrical; for example it may be rectangular, and may have a square cross section. Workpieces also may be other than circular; for example they may be of square or other outer shape. Workpieces to be processed may be semiconductor wafers, or they may be other items such as mask reticles.

The interleaved solenoidal coil antenna 100 can include any number of interleaved conductors. In the embodiment of FIG. 1, the coil antenna consists of three interleaved symmetrically arranged conductors 160, 163, 166. The plural conductors of the antenna lie along respective helical paths generally paralleling each other. Each such helix conforms with the same imaginary right cylindrical surface, forming the solenoidal configuration. As illustrated, the helical conductors 160, 163, 166 are offset uniformly from one another in the vertical direction. More generally, the conductors are offset substantially uniformly from one another generally in the direction of the chamber axis of symmetry. Their power input taps 160a, 163a, 166a, respectively, are connected through an impedance match network 170 to an RF plasma source power supply 175. Their return taps 160b, 163b and 166b, respectively, are connected to ground. As illustrated, the power taps 160a, 163a, 166a, preferably lie in the same horizontal plane in an imaginary circle, and are located along the circumference of that imaginary circle at uniform intervals which, in the case of three conductors, is 120°. More generally, the aforesaid plane is transverse to the chamber axis of symmetry. Similarly, the return taps 160b, 163b, 166b are co-planar and disposed at uniform intervals (120°). In this embodiment, the helical path of each conductor 160, 163, 166 slopes sufficiently in the axial direction to realize the generally uniform axial displacement between conductors while permitting the taps 160a, 163a and 166a to be co-planar. In other embodiments, the taps need not be co-planar.

In the embodiment of FIG. 1, the power tap and the return tap of each conductor are axially aligned (here, vertically aligned, since the chamber axis is shown as vertically

2

WU 02/05308

PCT/US01/30717

oriented). For example, the power and return taps 160a, 160b of the conductor 160 are axially aligned. Preferably, the grounded ends of the windings are nearest the chamber ceiling 110, as illustrated in FIG. 1, in order to keep high potentials away from the plasma, and thereby minimizing any tendency for arcing and undesired capacitive coupling effects.

A principal advantage is that the inductive coupling is performed by plural conductors (e.g., the three conductors 160, 163, 166) rather than by a single conductor, so that for the same amount of inductive coupling, shorter conductor lengths may be employed. This feature greatly reduces the electrical potential drop along each conductor, and advantageously reduces capacitive coupling.

In this illustrated embodiment, the antenna 100 is symmetrically arranged about the axis of symmetry of the cylindrical reactor chamber side wall 105. Thus, for example, the input taps 160a, 163a, 166a at the top of the antenna 100 are spaced equally from the axis of symmetry of the cylindrical side wall 105 and from each other. Similarly, the output taps 160b, 163b, 166b at the bottom of the antenna 100 are spaced equally from the axis of symmetry of the cylindrical side wall 105 and from each other. Moreover, each conductor 160, 163, 166 is substantially the same shape, substantially evenly spaced with respect to each other about the axis of symmetry, and substantially of the same length. Preferably, the input and output taps of each conductor (e.g., the input and output taps 160a, 160b) are in vertical alignment with one another (i.e., along the axis of symmetry of the cylindrical side wall 105).

#### How the Solenoidal Coil Provides Better Coupling:

The solenoidal feature of illustrated embodiments of the invention increases the coupling to the plasma of the antenna because each conductor segment is displaced from its nearest neighbor conductor segment in the direction of the axis of symmetry. In this way the magnetic lines attributable to mutual coupling between the conductor segments are in the axial direction, so that they advantageously reach toward the plasma in the reactor chamber.

Thus, coupling to the plasma is enhanced relative to designs in which the coils are flat with minimal coupling in the direction perpendicular to the chamber axis. In the embodiment of

WO 02/05306

PCT/US91/20717

FIG. 1, the three conductors 160, 163, 166 are displaced axially from one another so that the minimal inductance between nearest neighbor conductors is generally in the chamber axial direction.

Inner and Outer Solenoidal Coil Antennas with Multiple Interleaved Conductors

FIGS. 2-4 illustrate perspective, top and elevational views, respectively, of a reactor having inner and outer solenoidal antennas each having interleaved multiple conductors of the type illustrated in FIG. 1. An inner solenoidal antenna 210 has two interleaved conductors 215, 220 (rather than three as in FIG. 1). However, in other embodiments, a greater number of such interleaved conductors may be provided. The power terminals 215a, 220a are disposed at 180 degree angular separations from each other, as are the return terminals 215b, 220b. As in the embodiment of FIG. 1, the power and return terminals of each conductor 215, 220 of FIG. 2 are in vertical alignment, although in other implementations they may not be in axial alignment. Also as in the embodiment of FIG. 1, in FIG. 2 the power taps 215a, 220a lie in a top plane transverse to the axis while the return taps 215b, 220b lie in a bottom plane transverse to the axis. In the illustrated position, both of these transverse planes are horizontal. Each of the conductors 215, 220 is wound in a helix having a sufficient slope so that the 180 degree angular separation of the power taps 215a, 220a is sufficient to provide the axial offset between the conductors 215, 220 illustrated in FIG. 2.

An outer antenna 230 has three interleaved parallel conductors 235, 240, 245 with power taps 235a, 240a, 245a at 120 intervals in the top horizontal plane and return taps 235b, 240b, 245b at 120 intervals in the bottom horizontal plane. In order to facilitate adjustment of the radial distribution of plasma ion density, the power levels applied to each one of the inner and outer antennas 210, 230 must be separately or differentially adjustable. For this purpose, FIG. 2 illustrates two separate RF power sources 250, 255 coupled to the inner and outer antennas 210, 230 through respective impedance match networks 260, 265. One problem using separate power sources is that their output signals may need to wander in

WO 02/05308

PCT/US01/0717

and out of phase. As an alternative, FIG. 3 illustrates a common RF power source 270 with differentially adjustable dual outputs connected to the inner and outer antennas 210, 230. The dual output RF power source 270 is described later in this specification. Its principal advantage is that the separately adjustable RF signals applied to the inner and outer antennas 210, 230 are in phase, but their respective power levels may be adjusted relative to one another. The innovative design of the multiple coil antenna facilitates impedance matching and balancing as between the multiple coils, and the use of a common power source.

The elevational cut-away view of FIG. 4 shows how the discrete radial configuration of the inner and outer antennas 210, 230 overlies such a small area of the ceiling 110 that the remaining area provides more than sufficient space for the placement of temperature control elements over most of the ceiling area. Specifically, for example, the temperature control elements may include thermally conductive spacers 286, 288 contacting the top surface of the ceiling 110 at portions not underlying the inner and outer antennas 210, 230. The inner spacer 286 is a solid right cylinder surrounded by the inner antenna 210, while the outer spacer is a solid annulus flanked by the inner and outer antennas 210, 230. A cooling plate 290 overlies and connects the top surfaces of the thermally conductive spacers 286, 288 and has coolant passages 292 extending therethrough in which a liquid coolant may be circulated. Furthermore, the spacers 286, 288 may have hollow spaces to accommodate heater lamps 294 facing the ceiling 110.

#### How the Solenoidal Inner/Outer Antennas Increase the Adjustment of the Radial Distribution of Plasma Ion Density

Inner and outer antennas of the flat ("pancake") type tend to be distributed across a relatively large horizontal annulus so that their radial power deposition "locations" are not discretely defined. For example, some of the outer windings of the inner antenna are near the inner windings of the outer antenna. Thus, these RF currents flowing in the outermost windings of the inner antenna will have an effect on the coupling of inner windings of the outer antenna. Likewise, RF current flowing in the innermost windings of the outer antenna

WO 02/05308

PCT/US97/07917

will have an effect on the coupling of the outer windings of inner antenna. As a result, the positional effect of the inner and outer antennas is diffused and the radial power distribution can not be easily controlled by simply adjusting the RF power applied to each coil. This reduces the extent to which they can shift the radial distribution of the RF field (and therefore of the radial distribution of the plasma ion density) for a given difference between the power levels applied to the inner and outer antennas.

In contrast, in the embodiment illustrated in FIGS. 2-4, the solenoidal inner and outer antennas 210, 230 whose plural conductors are offset from each other generally in the vertical direction (or more generally in the direction of the chamber axis) have virtually no radial width beyond that of the thin conductors themselves. This is best seen in the embodiment of FIG. 3, clearly showing that in the horizontal plane (or more generally a plane transverse to the chamber axis) the inner and outer antennas 210, 230 appear as two discrete concentric circles whose circular lines are thin. Thus, for example, all of the RF power applied to the outer antenna 230 radiates into the chamber from the location of the single discrete radius of the outer antenna, so that none of it is "wasted" at interior radial locations as in the conventional antennas mentioned above. The same is true of the inner antenna 210 in that all of the RF power applied to the inner antenna 210 radiates from the single discrete radius of the inner antenna 210. Thus, none of it is "wasted" at exterior radial locations. As a result, for a given range of differences in applied power levels on the inner and outer antennas 210, 230, a much greater shift in radial distribution of plasma ion density is realized than in the conventional case.

This feature provides a great advantage as the chamber size is scaled upwardly to accommodate larger semiconductor wafer sizes. As the wafer size increases, it becomes more difficult to maintain a uniform plasma ion density across the entire wafer surface or to adjust the distribution of the plasma ion density across the wafer surface. The radial distribution of plasma ion density is in large measure determined by the radial distribution of the applied inductive field. Therefore, the radial distribution of plasma ion density can be readily sculpted by adjusting the radial distribution of the applied inductive field from the overhead antenna. As wafer size increases, a greater ability to sculpt or adjust the radial

WO 02/05308

PCT/US01/0717

distribution of the applied RF inductive field is required than previously possible. This need is now met by enhancing the effect of the apportionment of applied RF power between the inner and outer antennas, by: (a) confining each of the inner and outer antennas to discrete or very narrow radial locations, and (b) providing each of such antennas as plural symmetrically arranged conductors. This provides the basis for significantly enhanced impedance matching of different diameter antennas and power-apportioning capability, as well as minimizing voltage drop and undesired capacitive coupling effects, as set out in more detail below.

How the Impedances of the Inner and Outer Antennas Are Matched:

As mentioned previously in this specification, the larger dimensions of the outer antenna 230 dictate longer conductor lengths and therefore greater inductive reactance than the inner antenna 210. This creates problem in maintaining uniform potential differences across the reactor chamber and creates an impedance match problem if a common RF power source is employed. One aspect of the invention overcomes this problem by adjusting the length and number of the plural conductors in the interleaved coils of the inner as compared to the outer antenna. In particular, the outer antenna is provided as a greater number of individual interleaved conductors than the inner antenna. Moreover, each of the conductors of the outer antenna is proportionately shorter. The proportion of the number of interleaved conductors and conductor lengths between the inner and outer antennas is sufficient to reduce the disparity between the impedances of the inner and outer antennas.

Thus, the problem is solved in one aspect of the invention by reducing the inductance (length) of each of the conductors in the outer antenna 230. In order to avoid a concomitant reduction in the overall inductive coupling of the outer antenna 230, a greater number of individual conductors is provided in the outer antenna 230 than in the inner antenna 210. Specifically, while the inner antenna 210 has only two conductors with taps disposed at 180, the outer antenna 230 has three conductors with taps disposed at 120, as shown in FIGS 2-4. The greater number of conductors for the outer antenna enhances inductive coupling in order to compensate for the shorter individual conductor length. Further, each of the shorter

W/O 02/05308

PCT/US98/20717

conductors exhibits a much reduced voltage drop as compared with the use of a similar single conductor antenna, thus cutting undesired capacitive coupling effects.

#### First Integrated Embodiment:

FIG. 5 illustrates a first integrated embodiment having multiple solenoidal overhead antennas, each having a plurality of interleaved conductors. An inner solenoidal antenna 510 has a pair of interleaved conductors 515, 520 with power taps 515a, 520a at 180 degree intervals. An outer solenoidal antenna 525 has four interleaved conductors 530, 535, 540, 545 with power taps 530a, 535a, 540a, 545a at 90 degree intervals with respect to the axis of symmetry. Each interleaved conductor is generally parallel to the remaining conductors of a given antenna. An inner circular power bus 550 overlying the inner antenna 510 is connected to the inner antenna power taps 515a, 520a. Similarly, an outer circular power bus 552 overlying the outer antenna 525 is connected to the outer antenna power taps 530a, 535a, 540a, 545a. A set of four arms 560, 562, 564, 566 underlying the outer antenna 525 and disposed at 90 degree intervals connect respective ground taps to a circular grounded housing 570. Two of the arms 560, 564 opposing one another at 180 degree intervals are connected to the inner antenna ground taps 515b, 520b, respectively and to outer antenna ground taps 530b, 540b. The remaining two opposing arms 562, 566 are connected to the outer antenna ground taps 535b, 545b. For each one of the plural conductors of a given antenna in FIG. 5, the power tap and the ground tap are in axial alignment.

Further, the power and ground taps of both the inner and outer antennas are collinear, and in axial alignment, although alternative embodiments are possible in which they need not be aligned. The multiple conductors and symmetric design facilitates the use of such aligned taps both within each individual coil and as between multiple coils, greatly simplifying RF power input to the antennas and minimizing cross-talk, stray reactances, and the possibility of nonuniformities in the plasma.

#### Segmented Side by Side Solenoidal Conductors



WO 02/55308

PCT/US01/0717

FIGS. 6A and 6B illustrate an alternative embodiment of a single solenoidal plural-conductor coil antenna in which the plural conductors are not interleaved (as in the type of coil illustrated in FIG. 1 for example), but rather are segmented into parallel side-by-side conductors 610, 620, thus forming a solenoidal antenna which can be thought of as comprised of individual side by side segmented conductors. The top view of FIG. 6B clearly shows how such segmented conductors are side-by-side, rather than being displaced axially in the direction of the chamber axis or as illustrated, vertically. As in the interleaved embodiments, the side by side plural conductors of a given antenna are also symmetrically arranged about the axis along helical paths substantially parallel to each other. One of the conductors 610, 620 has a slightly larger helical radius than the other, so that the conductor 610 is the inner segment and the conductor 620 is the outer segment. The side-by-side conductors 610, 620, function, however, as a single antenna because they are closely spaced together. For example, in the illustrated embodiment, they are spaced apart by a radial distance within a factor of 20 times the thickness of the conductors 610, 620. In some implementations, this distance may be as large as 30 times the conductor thickness or as little as a fraction of the conductor thickness.

FIG. 7A illustrates how two solenoidal segmented side by side plural conductor antennas of the type illustrated in FIGS. 6A and 6B may be used as the inner and outer antennas in lieu of the inner and outer antennas of FIG. 5. In FIG. 7A, an inner antenna 710 consists of a pair of side-by-side solenoidal conductors 712, 714 with power taps 712a, 714a at the top and return taps 712b, 714b at the bottom. An outer antenna 730 consists of four side-by-side solenoidal conductors 735, 740, 745, 750, each having a smaller number of conductors than those of the inner antenna 710. Their power taps 735a, 740a, 745a, 750a are at the top and their return taps 735b, 740b, 745b, 750b are at the bottom. The power taps of the inner and outer antennas 710, 730 are preferably connected to different power output terminals so that their power levels may be adjusted differentially. This may be accomplished using separate power supplies or a common power supply with separately or differentially adjustable outputs, as will be described below.

WO 02/05308

PCT/US01/0717

FIG. 7B illustrates a version of the embodiment of FIG. 7A in which the reactor chamber ceiling 110, rather than being flat as in the embodiment of FIG. 7A, is dome-shaped, and the segmented solenoidal inner and outer coil antennas 710, 730 conform to the dome-shaped ceiling 110 of FIG. 7B. Thus, each solenoidal coil 712, 714 of the inner antenna 710 and each solenoidal coil 735, 740 of the outer antenna 730 are wound in a conical helix or helical dome shape, in which the lower windings of each coil 712, 714, 735, 740 have a greater diameter than the higher windings of the coil. Preferably, the conical surface followed by the coils 712, 714, 735, 740 are congruent with the dome-shaped ceiling 110 of FIG. 7B.

#### Tuning Inner and Outer Flat Coil Antennas

FIG. 8 illustrates how a flat version of the inner and outer interleaved coil antennas may be modified to tune them so as to bring their impedances nearer a match. As in the embodiment of FIG. 5, the inner antenna 810 of FIG. 8 has two interleaved conductors 815, 820, while the outer antenna 825 has four interleaved conductors 830, 835, 840, 845. The power taps 815a, 820a of the inner antenna are commonly connected while the ground taps 815b, 820b are disposed at 180 degree intervals. The power taps 830a, 835a, 840a, 845a of the outer antenna are disposed at 90 degree intervals, as are the outer antenna ground taps 830b, 835b, 840b, 845b. As in the embodiment of FIG. 5, the inner and outer antennas of FIG. 8 are nearly matched in impedance because the outer antenna has been provided as twice as many individual conductors as the inner antenna, whose lengths are therefore shortened proportionately to reduce their individual inductances without sacrificing the overall inductive coupling of the outer antenna.

As referred to above, a better impedance match between the inner and outer multiple conductor antennas 810, 825 facilitates numerous desirable advantages, including superior coupling of power into the plasma and a more practical adaptation to use with a common

W/O 02/05308

PCT/US01/20717

power source for both antennas. The same principles of improved impedance match should apply to inductive sources having plural antennas, each comprising multiple conductors, regardless of configuration, including both solenoidal and flat, as well as interleaved and segmented.

Solenoidal Interleaved Antennas With Dome Ceiling:

FIG. 9 illustrates how a plasma reactor in which the ceiling 110 is dome-shaped can have the cylindrical solenoidal inner and outer antennas 510, 525 of FIG. 5. In FIG. 9, the outer antenna 525 rests on an outer section of the dome ceiling and therefore is at a somewhat lower level than the inner antenna 510.

FIG. 10 illustrates a version of FIG. 9 in which the outer antenna 525 is modified to be a conformal antenna 525' that conforms with the sloping and nearly vertical surface of the outer section of the dome-shaped ceiling 110.

FIG. 11 illustrates a version of FIG. 9 in which the solenoid of the outer winding 525 is modified to be an antenna 525'' having an inverted conical sectional shape to it so that the cross-section is perpendicular to the surface of the dome-shaped ceiling 110.

FIG. 12 illustrates a version of FIG. 10 in which the inner antenna 510 is replaced by a flat interleaved coil antenna 1200 of the type disclosed in the above-referenced patent to Qian et al.

FIG. 13 illustrates a version of FIG. 9 in which the outer antenna 525 is placed at the level of the cylindrical side wall 105 so that it surrounds the side wall 105 rather than overlying the ceiling 110.

Solenoidal Interleaved Antennas with Flat Ceiling:

FIG. 14 illustrates a version of FIG. 13 in which the ceiling 110 is flat.



WO 02/05308

PC7/US01/20717

FIG. 15 illustrates a version of FIG. 14 in which the inner antenna is a flat interleaved parallel conductor coil antenna 1200 of FIG. 12.

Combining Interleaving with Segmentation

FIG. 16 illustrates a single solenoidal coil antenna 1600 having both the interleaving described above with reference to FIG. 1 and segmenting described above with reference to FIG. 6A. The antenna 1600 of FIG. 16 consists of an inner segment 1605 having two interleaved parallel conductors 1610, 1620. The inner segment 1605 is essentially a two-conductor version of the interleaved solenoidal coil of FIG. 1. The antenna of FIG. 16 further consists of an outer segment 1630 surrounding the inner segment 1605. The outer segment also has two interleaved parallel conductors 1640, 1650. The outer segment 1630 is also a two-conductor version of the interleaved solenoidal coil of FIG. 1. The top ends of each of the conductors in FIG. 16 are power taps, all of which are connected through an impedance match network 1660 to an RF power source 1670. The bottom ends of each of the conductors in FIG. 16 are return taps which are connected to ground.

FIG. 17 illustrates a second illustrated embodiment of the invention similar to the embodiment of FIG. 5 except that the outer antenna 525 is replaced by the antenna 1600 of FIG. 16. The inner antenna 510 of FIG. 17 is the same as that described above with reference to FIG. 5.

FIG. 17 provides a perspective view that affords a more detailed view of the antenna 1600 than the elevational view of FIG. 16. FIG. 17 shows that the power and ground taps 1610a, 1610b of the inner segment's conductor 1610 are vertically aligned and are offset by 180 from the vertically aligned power and ground taps 1620a, 1620b of the inner segment's other inner antenna conductor 1620. Likewise, the power and ground taps 1640a, 1640b of the outer segment's conductor 1640 are vertically aligned and are offset by 180 from the vertically aligned power and ground taps 1650a, 1650b of the outer segment's other conductor 1650. Moreover, the taps of the inner segment 1605 are located at 90 relative to the taps of the outer segment 1630.

WO 02/05308

PCT/US01/07917

An inner annular power bus 1750 overlying the inner antenna 510 furnishes RF power to each of the power taps of the inner antenna 510. An outer annular power bus 1760 overlying both the inner and outer segments 1605, 1630 of the outer antenna furnishes RF power to each of the power taps of the segment 1605, 1630. Insulator 1780 support all of the windings as shown in FIG. 17.

An RF Power Source with Phase Differentially Adjustable Outputs

A power source having at least two differentially adjustable power outputs has been referred to previously in this specification, and is disclosed in co-pending application Serial No. 09/544,377, filed April 6, 2000 by Barnes et al. entitled "Inductively Coupled Plasma Source with Controllable Power Deposition", the disclosure of which is hereby incorporated herein by reference in its entirety. FIG. 18 illustrates one embodiment of such a power source having dual outputs. In FIG. 18, an RF power source 1800 includes an RF generator 1810 connected through an impedance match network 1815 to a series capacitor 1820 and a variable shunt capacitor 1825. A first RF output terminal 1830 of the source 1800 is connected between the match network 1815 and the series capacitor 1820, while a second RF output terminal 1840 is connected to the opposite side of the series capacitor 1820. Adjusting the variable shunt capacitor 1825 apportions more power to one output terminal or the other, depending upon the adjustment. Thus, the power levels at the two output terminals is differentially adjustable. As illustrated in FIG. 18, the first output terminal 1830 is connected to the inner antenna 510 while the other output terminal 1840 is connected to the outer antenna 525 of FIG. 5. In FIG. 19, the terminals 1830, 1840 are connected to the inner and outer segmented parallel conductor antennas 710, 730, respectively, of FIG. 7. In FIG. 20, the output terminals 1830, 1840 are connected to the flat inner and outer interleaved coil antennas 810, 825, respectively, of FIG. 8. More generally, the dual output power source of FIG. 18 may be used with any plasma reactor having inner and outer antennas, with the terminal 1830 connected to the inner antenna and the terminal 1840 connected to the outer antenna. This is true of each of the reactors having inner and outer antennas described above with reference to FIGS. 9 through 15.

20

WO 02/05308

PCT/US91/00717

The power source may have more than two differentially adjustable outputs for use with reactors having more than two antennas. For example, FIG. 21 illustrates a plasma reactor having three antennas, namely an inner antenna 2110, an intermediate antenna 2120 and outer antenna 2130. Each of these three antennas may be of any type of suitable coil antenna, such as a flat or solenoidal single conductor coil antenna, a flat or solenoidal interleaved parallel conductor antenna, solenoidal segmented parallel conductor antenna or a combination of different ones of the foregoing types. However, in the embodiment illustrated in FIG. 21, the inner antenna 2110 is the solenoidal interleaved parallel conductor antenna 210 of FIG. 2, and the intermediate antenna 2120 is the segmented and interleaved parallel conductor antenna 1600 of FIG. 16. Moreover, the outer antenna 2130 is a larger version of the segmented and interleaved parallel conductor antenna 1600 of FIG. 16.

FIG. 22 illustrates an RF power source with three differentially adjustable output terminals for use with a three-antenna plasma reactor such as the three-antenna plasma reactor of FIG. 21. The RF power source of FIG. 22 includes an RF power generator 2210 with a match network 2215, first and second series capacitors 2220, 2230 and first and second variable shunt capacitors 2240, 2250, the first variable shunt capacitor 2240 being connected across the first series capacitor and ground and the second shunt capacitor 2250 being connected across the second series capacitor and ground. A first output terminal 2260 is connected between the match network 2215 and the first series capacitor 2220. A second output terminal 2265 is connected between the first shunt capacitor 2240 and the second series capacitor 2230. A third output terminal 2270 is connected to the other side of the second series capacitor 2230. Preferably, the first output terminal 2260 is connected to the power taps of the inner antenna 2110 of FIG. 21, the second output terminal 2265 is connected to the power taps of the intermediate antenna 2120 while the third output terminal 2270 is connected to the power taps of the outer antenna 2130.

WO 02/05208

PCT/US99/0717

FIG. 23 illustrates a modified version of the three-terminal RF power source of FIG. 22, in which the first series and shunt capacitors 2220, 2240 are connected in parallel with the second series and shunt capacitors 2230, 2250.

In practice, the variable shunt capacitors 2240, 2250 are adjusted to apportion different RF power levels to the inner, intermediate and outer antennas until the desired radial distribution of the applied RF field or of the plasma ion density is achieved. The particular radial distribution to be achieved depends upon the process being performed. For example, certain processes require a uniform distribution. Other processes, such as aluminum etch, produce non-uniform gas or ion distributions across the wafer surface, which can be compensated for by selecting an appropriate non-uniform radial distribution of the applied RF field. This selection is carried out by adjustment of the variable shunt capacitors 2230, 2250.

FIG. 24 illustrates a version of the embodiment of FIG. 1 in which the coil antenna 100 including the coiled conductors 160, 163, 166 are rectangular about the axis of symmetry rather than being circular as in the embodiment of FIG. 1. This embodiment may be better adapted to processing flat panel displays or the like.

#### Advantages of the Disclosed Embodiments:

A number of problems in the art that have plagued plasma reactor performance have now been overcome. The solenoidal feature of the invention increases the efficiency of the antenna because each conductor segment is displaced from its nearest neighbor conductor segment generally in the axial direction. In this way the magnetic lines attributable to mutual coupling between the conductor segments are in the vertical direction, so that they advantageously reach toward the plasma in the reactor chamber. Thus, coupling to the plasma is enhanced relative to designs in which the coils are flat with mutual coupling in the direction perpendicular to the chamber axis.



WO 02/05308

PCT/US91/00717

Vertical solenoidal interleaved plural conductive inner and outer antennas have virtually no radial width beyond that of the thin conductors themselves. Thus, for example, a majority of the RF power applied to the outer antenna radiates into the chamber from the single discrete radius of the outer antenna, so that none of it is "wasted" at interior radial locations as in the conventional antenna mentioned above. The same is true of the inner antenna in that a majority of the RF power applied to the inner antenna radiates from the single discrete radius of the inner antenna. Thus, none of it is "wasted" at exterior radial locations. As a result, for a given range of differences in applied power levels on the inner and outer antennas, a much greater shift in radial distribution of plasma ion density is realized than is possible in the conventional case.

This aspect of the invention is particularly advantageous in providing uniform and/or adjustable plasma ion distributions across a very large wafer surface. Thus, the chamber size is readily scalable up to large diameter wafers using the inner/outer antenna structure. Moreover, even greater scalability is attained by employing an even greater number of antennas, e.g., an intermediate antenna between the inner and outer antennas.

The problem of the disparity between impedances of the inner and outer antennas is overcome by adjusting the length and number of the plural conductors in the interleaved coils of the inner and outer antennas. The outer antenna is divided into a greater number of interleaved conductors than the inner antenna. Moreover, each of the conductors of the outer antenna is proportionately shorter. The proportion of the number of interleaved conductors and conductor lengths between the inner and outer antennas is sufficient to reduce the disparity between the impedances of the inner and outer antennas. Thus, the problem is solved by reducing the inductance (length) of each individual conductor in the outer antenna relative to the inner antenna. In order to avoid a concomitant reduction in the overall inductive coupling of the outer antenna, a greater number of individual conductors is provided in the outer antenna than in the inner antenna. The greater number of individual conductors enhances inductive coupling in order to compensate for the shortened conductor length in the outer antenna.

23

WO 02/05308

PCT/US91/00717

With the inner and outer antenna impedances matched or nearly matched, a common power source to drive both antennas can be used without encountering impedance match problems. A illustrated embodiment of the invention employs a common power source having multiple outputs with differentially adjustable power levels to permit the sculpting of the radial distribution of plasma ion density.

As an alternative to the interleaved plural conductor antenna, the segmented plural conductor antenna enjoys the advantages of the interleaved conductor antenna and can be implemented in the various configurations disclosed above including solenoidal or dome shaped. Moreover, the segmented feature can be combined with the interleaved feature in accordance with certain illustrated embodiments disclosed above.

The solenoidal interleaved and segmented conductor antennas disclosed above preferably include co-planar power taps in one (e.g., an upper) plane and co-planar return taps in another (e.g., a lower) plane. For each one of the plural conductors of a given antenna, its power tap and its return tap advantageously are vertically aligned (or more generally, aligned along the axis of the coil antenna), thus advantageously simplifying the configuration of the antenna.

Thus, for the first time, several and indeed all of the foregoing advantages can be provided simultaneously in the same plasma source.

While the invention has been described in detail by specific reference to illustrated embodiments, it is understood that variations and modifications thereof may be made without departing from the true spirit and scope of the invention.

WO 02/05308

PCT/US91/0717

What is claimed is:

1. A plasma reactor for use with a supply of RF source power for processing a workpiece, said reactor comprising:
  - a vacuum chamber having a ceiling and defining an axis of symmetry;
  - a workpiece support pedestal within the chamber;
  - a first solenoidal interleaved coil antenna overlying at least an intermediate portion of the ceiling and comprising a first plurality of conductors wound about the axis of symmetry in respective concentric helical solenoids, said conductors being at least nearly uniformly laterally displaced from said axis of symmetry, the conductors being offset from one another in the direction generally of the axis of symmetry, each of said conductors being adapted for connection across a supply of RF source power.
2. The reactor of Claim 1 wherein said coil antenna lies between top and bottom planes generally perpendicular to said axis of symmetry, the helical solenoid defined by each conductor being terminated at a top point of the conductor near said top plane and a bottom point of the conductor near said bottom plane, said RF power source being connected across said top and bottom points of each of said conductors.
3. The reactor of Claim 2 wherein said top points are connected to an output terminal of said RF power source and said bottom points are grounded so as to reduce the electric potential near said ceiling.
4. The reactor of Claim 2 wherein said top points are angularly displaced from one another by about  $360/n$ , wherein  $n$  is the number of said plural conductors of the coil antenna.

WO 02/05308

PCT/US01/0717

5. The reactor of Claim 4 wherein said bottom points are angularly displaced from one another by about  $360/n$ , wherein  $n$  is the number of said plural conductors of the coil antenna.
6. The reactor of Claim 5 wherein said top points are co-planar and lie in said top plane.
7. The reactor of Claim 6 wherein said bottom points are co-planar and lie in said bottom plane.
8. The reactor of Claim 7 wherein said bottom plane is nearly co-planar with a top surface of said ceiling.
9. The reactor of Claim 2 wherein said top and bottom ends of each of said conductors are co-linear in a direction parallel to said axis of symmetry.
10. The reactor of Claim 1 wherein said helical solenoids of said plural conductors are cylindrical, said lateral extent being the diameter of said helical solenoids, whereby the coil antenna defines a right cylinder.
11. The reactor of Claim 1 further comprising a plasma bias RF power supply connected to said workpiece support pedestal.
12. The reactor of Claim 1 wherein said plasma source power supply comprises an source RF generator and an impedance match network connected between said source RF generator and said antenna.
13. The reactor of Claim 1 wherein said plasma bias power supply comprises bias a RF generator and an impedance match network connected between said bias RF generator and said workpiece support pedestal.

WO 02/05308

PCT/US91/00717

14. The reactor of Claim 1 further comprising:  
an inner coil antenna overlying the ceiling and surrounded by and having a lateral extent less than said first solenoidal interleaved conductor coil antenna, whereby said first solenoidal interleaved conductor coil antenna is an outer coil antenna.

15. The reactor of Claim 14 further comprising a second RF plasma source power supply connected to said inner coil antenna whereby the respective RF power levels applied to said inner and outer antennas are differentially adjustable to control radial distribution of the applied RF field from said inner and outer antennas.

16. The reactor of Claim 14 wherein said first RF plasma source power supply comprises two RF outputs having differentially adjustable power levels, one of said two RF outputs being connected to said outer antenna and the other being connected to said inner antenna, whereby the respective RF power levels applied to said inner and outer antennas are differentially adjustable to control radial distribution of the applied RF field from said inner and outer antennas.

17. The reactor of Claim 14 wherein the number of said first plurality of conductors is greater than the number of said second plurality of conductors and the lengths of said first plurality of conductors are shortened accordingly, so as to bring the inductive reactance of said outer antenna at least nearer that of said inner antenna.

18. The reactor of Claim 14 wherein said inner antenna comprises a second solenoidal interleaved conductor coil antenna overlying the ceiling and comprising a second plurality of conductors wound about said axis of symmetry in concentric helical solenoids of at least nearly uniform lateral displacements from said axis of symmetry but less than that of said outer antenna, the conductors in each helical solenoid being offset from the conductors in the other helical solenoids in a direction parallel to said axis of symmetry.

WO 02/05308

PCT/US91/38717

19. The reactor of Claim 18 wherein the number of said first plurality of conductors of said outer antenna is greater than the number of said second plurality of conductors of said inner antenna.

20. The reactor of Claim 19 wherein the number of said first plurality of parallel conductors is greater than the number of said second plurality of parallel conductors and the lengths of said first plurality of parallel conductors are shortened accordingly, so as to bring the inductive reactance of said outer antenna at least nearer that of said inner antenna.

21. The reactor of Claim 20 wherein the number of said second plurality of conductors is sufficient to compensate for said short length.

22. The reactor of Claim 21 wherein the number said first plurality of conductors is twice the number of said second plurality of conductors.

23. The reactor of Claim 18 wherein the lateral displacements of said first plurality of conductors of said outer antenna are uniform and the lateral displacements of said second plurality of conductors of said inner antenna are uniform, whereby said inner and outer antennas are confined within respective narrow zones of widths corresponding to the thickness of said conductors, whereby to maximize the differential effect of said inner and outer antennas on the radial distribution of applied RF field.

24. The reactor of Claim 23 wherein said chamber and said inner and outer antennas are cylindrical.

25. The reactor of Claim 24 wherein said lateral displacements of said first and second pluralities of conductors are outer and inner radii, respectively, overlying peripheral and center regions of said chamber, respectively.

WO 02/05108

PCT/US91/00717

## 26. The reactor of Claim 18 wherein:

said inner coil antenna lies between top and bottom inner planes generally perpendicular to said axis of symmetry, the helical solenoid defined by each conductor of said inner antenna being terminated at a top point of the conductor near said top inner plane and a bottom point of the conductor near said bottom inner plane;

said outer coil antenna lies between top and bottom outer planes generally perpendicular to said axis of symmetry, the helical solenoid defined by each conductor of said outer antenna being terminated at a top point of the conductor near said top outer plane and a bottom point of the conductor near said bottom outer plane.

## 27. The reactor of Claim 26 wherein:

said top points of said outer antenna are angularly displaced from one another by about  $360/n$ , wherein  $n$  is the number of said plural conductors of the outer coil antenna; said top points of said inner antenna are angularly displaced from one another by about  $360/m$ , wherein  $m$  is the number of said plural conductors of the inner coil antenna.

## 28. The reactor of Claim 27 wherein:

said bottom points of said outer antenna are angularly displaced from one another by about  $360/n$ , wherein  $n$  is the number of said plural conductors of the outer coil antenna;

said bottom points of said inner antenna are angularly displaced from one another by about  $360/m$ , wherein  $m$  is the number of said plural conductors of the inner coil antenna; and

the top and bottom points of each of said conductors are in alignment along a direction parallel to axis of symmetry.

## 29. The reactor of Claim 28 further comprising:

an inner annular RF power conductor bus in said top inner plane and having a radius generally the same as that of said inner antenna, said top points of said inner antenna being connected to said inner annular RF power conductor bus;

W/O 02/05304

PCT/US91/0717

an outer annular RF power conductor bus in said top outer plane and having a radius generally the same as that of said inner antenna, said top points of said outer antenna being connected to said outer annular RF power conductor bus.

30. The reactor of Claim 27 wherein  $n$  is an integral multiple of  $m$  and wherein  $n/m$  of the top points of said outer antenna are in angular alignment with the top points of said inner antenna.

31. The reactor of Claim 2 wherein said top points and bottom points are spaced equally with respect to an axis of symmetry of said reactor and with respect to one another.

32. The reactor of Claim 31 wherein said conductors are evenly spaced with respect to one another and with respect to the axis of symmetry and are of substantially the same shape.

33. The reactor of Claim 1 wherein the conductors of said antenna are generally mutually parallel.

34. The reactor of Claim 1 wherein said solenoidal antenna is rectangular.

35. The reactor of Claim 2 wherein said top points are axially equally spaced and said bottom points are axially equally spaced.

36. The reactor of Claim 2 wherein corresponding ones of said top and bottom points are in axial alignment.

37. A plasma reactor for use with a supply of RF source power for processing a workpiece, said reactor comprising:

a vacuum chamber having a ceiling and defining an axis of symmetry;

a workpiece support pedestal within the chamber;



WO 02/05308

PCT/US01/20717

a first solenoidal segmented coil antenna overlying the ceiling and comprising a first plurality of conductors wound about the axis of symmetry in respective concentric side-by-side helical solenoids, the conductors of each helical solenoid being offset by a distance on the order of a conductor width of said plurality of conductors from the conductor of the nearest other helical solenoid in a direction transverse to said axis of symmetry, each of said conductors being adapted for connection across said supply of RF source power.

38. The reactor of Claim 37 wherein each helical solenoid of the antenna has a slightly different diameter.

39. The reactor of Claim 37 wherein each of the segmented conductors of the antenna are generally parallel to each other.

40. The reactor of Claim 37 wherein said coil antenna lies between top and bottom planes generally perpendicular to said axis of symmetry, the helical solenoid defined by each conductor being terminated at a top point of the conductor near said top plane and a bottom point of the conductor near said bottom plane, said RF power source being connected across said top and bottom points of each of said conductors.

41. The reactor of Claim 40 wherein said top points are connected to an output terminal of said RF power source and said bottom points are grounded so as to reduce the electric potential near said ceiling.

42. The reactor of Claim 40 wherein said top points are angularly displaced from one another by about  $360/n$ , wherein  $n$  is the number of said plural conductors of the coil antenna.

WO 02/05308

PCT/ESM/2001/7

43. The reactor of Claim 40 wherein said bottom points are angularly displaced from one another by about  $360/n$ , wherein  $n$  is the number of said plural conductors of the coil antenna.

44. The reactor of Claim 40 wherein said top points are co-planar and lie in said top plane.

45. The reactor of Claim 40 wherein said bottom points are co-planar and lie in said bottom plane.

46. The reactor of Claim 45 wherein said bottom plane is nearly co-planar with a top surface of said ceiling.

47. The reactor of Claim 40 wherein said top and bottom ends of each of said conductors are co-linear in a direction parallel to said axis of symmetry.

48. The reactor of Claim 37 wherein said helical solenoids of said plural conductors are cylindrical, said lateral extent being the diameter of said helical solenoids, whereby the coil antenna defines a right cylinder.

49. The reactor of Claim 37 further comprising a plasma bias RF power supply connected to said workpiece support pedestal.

50. The reactor of Claim 37 wherein said plasma source power supply comprises a source RF generator and an impedance match network connected between said source RF generator and said antenna.

51. The reactor of Claim 49 wherein said plasma bias power supply comprises a bias RF generator and an impedance match network connected between said bias RF generator and said workpiece support pedestal.

WO 02/05328

PCT/US91/0717

52. The reactor of Claim 37 further comprising:

an inner coil antenna overlying the ceiling and surrounded by and having a lateral extent less than said first solenoidal interleaved parallel conductor coil antenna, whereby said first solenoidal interleaved parallel conductor coil antenna is an outer coil antenna.

53. The reactor of Claim 52 further comprising a second RF plasma source

power supply connected to said inner coil antenna whereby the respective RF power levels applied to said inner and outer antennas are differentially adjustable to control radial distribution of the applied RF field from said inner and outer antennas.

54. The reactor of Claim 52 wherein said first RF plasma source power supply

comprises two RF outputs having differentially adjustable power levels, one of said two RF outputs being connected to said outer antenna and the other being connected to said inner antenna, whereby the respective RF power levels applied to said inner and outer antennas are differentially adjustable to control radial distribution of the applied RF field from said inner and outer antennas.

55. The reactor of Claim 52 wherein the number of said first plurality of parallel

conductors is greater than the number of said second plurality of parallel conductors and the lengths of said first plurality of parallel conductors are shortened accordingly, so as to bring the inductive reactance of said outer antenna at least nearer that of said inner antenna.

56. The reactor of Claim 52 wherein said inner antenna comprises a second

solenoidal segmented parallel conductor coil antenna overlying the ceiling and comprising a second plurality of conductors wound about said axis of symmetry in concentric helical solenoids, each helical solenoid being offset from the other helical solenoids in a direction perpendicular to said axis of symmetry.

WO 02/05308

PCT/US91/0717

57. The reactor of Claim 56 wherein the number of said first plurality of conductors of said outer antenna is greater than the number of said second plurality of conductors of said inner antenna.

58. The reactor of Claim 56 wherein the number of said first plurality of parallel conductors is greater than the number of said second plurality of parallel conductors and the lengths of said first plurality of parallel conductors are shortened accordingly, so as to bring the inductive reactance of said outer antenna at least nearer that of said inner antenna.

59. The reactor of Claim 58 wherein the number of said second plurality of conductors is sufficient to compensate for said short length.

60. The reactor of Claim 59 wherein the number said first plurality of conductors is twice the number of said second plurality of conductors.

61. The reactor of Claim 56 wherein the inner and outer antennas are confined within respective narrow slots of widths each within an order of magnitude of the corresponding number of conductors multiplied by the conductor thickness, whereby to maximize the differential effect of said inner and outer antennas on the radial distribution of applied RF field.

62. The reactor of Claim 61 wherein said chamber and said inner and outer antennas are cylindrical.

63. The reactor of Claim 62 wherein said lateral displacements of said first and second pluralities of conductors are outer and inner radii, respectively, overlying peripheral and center regions of said chamber, respectively.

64. The reactor of Claim 56 wherein:

WO 02/05308

PCT/US01/00717

said inner coil antenna lies between top and bottom inner planes generally perpendicular to said axis of symmetry, the helical solenoid defined by each conductor of said inner antenna being terminated at a top point of the conductor near said top inner plane and a bottom point of the conductor near said bottom inner plane;

said outer coil antenna lies between top and bottom outer planes generally perpendicular to said axis of symmetry, the helical solenoid defined by each conductor of said outer antenna being terminated at a top point of the conductor near said top outer plane and a bottom point of the conductor near said bottom outer plane.

65. The reactor of Claim 64 wherein:

said top points of said outer antenna are angularly displaced from one another by about  $360/n$ , wherein  $n$  is the number of said plural conductors of the outer coil antenna;

said top points of said inner antenna are angularly displaced from one another by about  $360/m$ , wherein  $m$  is the number of said plural conductors of the inner coil antenna.

66. The reactor of Claim 65 wherein:

said bottom points of said outer antenna are angularly displaced from one another by about  $360/a$ , wherein  $a$  is the number of said plural conductors of the outer coil antenna;

said bottom points of said inner antenna are angularly displaced from one another by about  $360/m$ , wherein  $m$  is the number of said plural conductors of the inner coil antenna; and

the top and bottom points of each of said conductors are in alignment along a direction parallel to axis of symmetry.

67. The reactor of Claim 66 further comprising:

an inner annular RF power conductor bus in said top inner plane and having a radius generally the same as that of said inner antenna, said top points of said inner antenna being connected to said inner annular RF power conductor bus;

WO 02/05208

PCT/US01/00727

an outer annular RF power conductor bus in said top outer plane and having a radius generally the same as that of said outer antenna, said top points of said outer antenna being connected to said outer annular RF power conductor bus.

68. The reactor of Claim 37 wherein said helical solenoids of said plural conductors spiral laterally in addition to being helical longitudinally.

69. The reactor of Claim 68 wherein said helical solenoids of said plural conductors define a portion of three-dimensional surface.

70. The reactor of Claim 69 wherein said three-dimensional surface is a portion of a dome-shaped surface.

71. The reactor of Claim 70 wherein said ceiling defines a three-dimensional surface and said three-dimensional surface of said helical solenoids conforms with the three-dimensional surface of said ceiling.

72. The reactor of Claim 71 wherein said ceiling and said helical solenoids are mutually conforming partial dome shapes.

73. The reactor of Claim 40 wherein said top points and bottom points are spaced equally with respect to an axis of symmetry of said reactor and with respect to one another.

74. The reactor of Claim 73 wherein said conductors are evenly spaced with respect to one another and with respect to the axis of symmetry and are of substantially the same shape.

75. The reactor of Claim 37 wherein said solenoidal antenna is rectangular.

WO 02/05308

PCT/US91/00717

76. The reactor of Claim 37 wherein said solenoidal antenna conforms to a right cylinder.

77. A plasma reactor for processing a workpiece, said reactor comprising:  
a vacuum chamber having a ceiling and defining an axis of symmetry;  
a workpiece support pedestal within the chamber;  
an outer coil antenna adjacent the chamber, said outer coil antenna comprising a first plurality of conductors wound symmetrically about the axis;  
an inner coil antenna adjacent the chamber, said inner coil antenna comprising a second plurality of conductors wound symmetrically about the axis; and  
wherein the number of said first plurality of conductors is greater than the number of said second plurality of conductors.

78. The reactor of Claim 77 wherein the conductors within each of said pluralities of conductors are generally mutually parallel.

79. The reactor of Claim 77 wherein at least said outer antenna is an interleaved parallel conductor coil antenna.

80. The reactor of Claim 79 wherein at least said outer antenna is flat in a plane generally parallel to that of said ceiling.

81. The reactor of Claim 79 wherein at least said outer antenna is dome shaped.

82. The reactor of Claim 79 wherein at least said outer antenna is solenoidal.

83. The reactor of Claim 77 wherein at least said outer antenna is a solenoidal segmented parallel conductor coil antenna.

WO 02/05308

PCT/US98/0717

84. The reactor of Claim 77 further comprising independent RF plasma source power supplies connected to said inner and outer coil antennas, respectively, whereby the respective RF power levels applied to said inner and outer antennas are differentially adjustable to control radial distribution of the applied RF field from said inner and outer antennas.

85. The reactor of Claim 77 further comprising an RF plasma source power supply with two RF outputs having differentially adjustable power levels, one of said two RF outputs being connected to said outer antenna and the other being connected to said inner antenna, whereby the respective RF power levels applied to said inner and outer antennas are differentially adjustable to control radial distribution of the applied RF field from said inner and outer antennas.

86. The reactor of Claim 85 wherein said RF plasma source power supply comprises:  
an RF power generator having an output terminal and a return terminal;  
a series capacitor;  
an impedance match element connected between said RF power generator output terminal and one side of said series capacitor;  
a variable shunt capacitor connected between the other side of said series capacitor and said return terminal;  
a first output node connected at the junction between said impedance match element and said series capacitor; and  
a second output node connected at the junction between said series capacitor and said variable shunt capacitor.

87. The reactor of Claim 85 further comprising an intermediate coil antenna between said inner and outer coil antennas, said RF source power supply comprising a third differentially adjustable RF output.



W/O 02/05308

PCT/US91/00717

88. The reactor of Claim 57 wherein said RF plasma source power supply comprises:
- an RF power generator having an output terminal and a return terminal;
  - a first series capacitor;
  - an impedance match element connected between said RF power generator output terminal and one side of said series capacitor;
  - a first variable shunt capacitor connected between the other side of said series capacitor and said return terminal;
  - a second series capacitor having one side connected to the junction between said first series and shunt capacitors;
  - a second variable shunt capacitor connected between the other side of said second series capacitor and said RF return;
  - a first output node connected at the junction between said impedance match element and said first series capacitor;
  - a second output node connected at the junction between said first series capacitor and said first variable shunt capacitor; and
  - a third output node connected at the junction between said second series capacitor and said second variable shunt capacitor.
89. The reactor of Claim 77 wherein said inner and outer antennas are circular.
90. The reactor of Claim 77 wherein said inner and outer antennas are rectangular.
91. The reactor of Claim 77 wherein said inner antenna overlies at least an intermediate portion of said ceiling.
92. The reactor of Claim 77 further comprising a process gas distribution inlet for supplying process gas into said chamber.

W/O 02/05308

PCT/US91/0711

93. The reactor of Claim 77 wherein at least one of said inner and outer antenna is a segmented plural conductor antenna.

94. The reactor of Claim 77 wherein the lengths of said first plurality of parallel conductors are shortened accordingly, so as to bring the inductive reactance of said outer antenna at least nearer that of said inner antenna.

95. The reactor of Claim 77 wherein said inner antenna overlies at least an intermediate portion of said ceiling.

96. The reactor of Claim 77 wherein said workpiece support generally faces said ceiling.

97. The reactor of Claim 77 wherein said outer antenna has a radius greater than that of said inner antenna.

98. The reactor of Claim 77 wherein each conductor defines two ends, and wherein the ends of said first plurality of conductors are in axial alignment with respective ends of said second plurality of conductors.

99. The reactor of Claim 77 wherein each conductor defines first and second ends, and wherein the first ends of at least said first plurality of conductors are axially equally spaced and the second ends of at least said first plurality of conductors are axially equally spaced.

100. The reactor of Claim 77 wherein at least one of said inner and outer antennas defines a right cylinder.

101. A coil antenna for radiating RF power into a vacuum chamber, said coil antenna comprising:

WO 02/05308

PCT/US98/02717

plural parallel segmented conductors each having a first end and a second end, the first ends being adapted for connection to a first common RF potential, the second ends being adapted for connection to a second common RF potential, each of said plural conductors being wound about a common axis of symmetry, each of said second ends being spaced substantially equally from said axis and from each other.

102. The apparatus of Claim 101, in which each segmented conductor conforms to a right circular cylindrical surface.

103. The apparatus of Claim 101, in which each of the conductors defines first and second ends, each of first ends being azimuthally substantially equally spaced from each other, each of said second ends being azimuthally substantially equally spaced from each other.

104. The apparatus of Claim 101 in which the plural segmented conductors respectively define adjacent concentric helices oriented side by side with respect to the axis.

105. The apparatus of Claim 104 in which each of the concentric helices is offset with respect to the other on the order of a conductor width in a direction transverse to the axis.

106. The apparatus of Claim 101 in which each of the concentric helices is wound with a pitch having a component in the axial direction.

107. The apparatus of Claim 101 in which said first ends are spaced substantially equally from said axis and from each other.

108. The apparatus of Claim 101 in which each of said conductors are substantially the same length.

WO 02/05308

PCT/CS01/0717

109. The apparatus of Claim 101 in which the spacing between conductors is substantially the same.

110. The apparatus of Claim 109 in which the distance between conductors increases with distance from the ends.

111. The apparatus of Claim 109 in which the distance between conductors is substantially the same throughout their length.

112. The apparatus of Claim 111 in which each of the conductors conform to a substantially planar surface.

113. The apparatus of Claim 112 in which each of the conductors conform to a circularly symmetric surface.

114. The apparatus of Claim 113 in which each of the conductors conforms to a flat circularly symmetric surface.

115. The apparatus of Claim 113 in which each of the conductors conforms to a domed circularly symmetric surface.

116. The apparatus of Claim 113 in which each of the conductors conforms to a curved right circular cylindrical surface.

117. The apparatus of Claim 101 in which the antenna is adapted for operation with an RF source providing said first and second potentials, said first ends and said second ends being connected across said RF source respectively to said first and second potentials.

118. The apparatus of Claim 101 wherein said first ends are coplanar with each other.

WD 02/05308

PCT/ES91/29717

119. The apparatus of Claim 101 wherein said second ends are coplanar with each other.

120. The apparatus of Claim 101 wherein said first ends lie on a first common plane, said second ends lie on a second common plane, and said first and second planes are parallel.

121. The apparatus of Claim 120 in which said first and second planes are spaced from each other in the axial direction.

122. The apparatus of Claim 101 in which said first ends define a circular locus centered on said axis.

123. The apparatus of Claim 122 in which said second ends define a circular locus centered on said axis.

124. The apparatus of Claim 101 in which the plural segmented conductors respectively define adjacent concentric helices oriented side by side with respect to the axis.

125. The apparatus of Claim 124 in which each of the concentric helices is offset with respect to the other on the order of a conductor width in a direction transverse to the axis.

126. The apparatus of Claim 101 in which each of the concentric helices is wound with a pitch having a component in the axial direction.

127. An antenna for reflecting RF power into a vacuum chamber, the antenna comprising:  
plural parallel segmented conductors each having a first end located in a first common region and a second end located in a second common region, and each being

43

WO 02/05308

PCT/US99/0717

wound about a common axis passing through both regions, said regions being concentric with said axis, said conductors being substantially the same length, substantially the same shape, and substantially evenly spaced with respect to each other about said common axis.

128. The apparatus of Claim 127 in which said the second common region is outside the first common region with respect to said axis.

129. The apparatus of Claim 128 in which the first and second common regions are axially displaced with respect to each other.

130. The apparatus of Claim 129 in which said first and second common regions overlap.

131. The apparatus of Claim 129 in which one of said regions is outside the other with respect to said axis.

132. The apparatus of Claim 127 in which at least one of said common regions is orthogonal to said common axis.

133. The apparatus of Claim 127 in which said first and second common regions lie in respective planes parallel to each other.

134. The apparatus of Claim 127 in which said first and second common regions are coplanar.

135. The apparatus of Claim 127 in which the distance between adjacent conductors increases with distance from the common axis.

136. The apparatus of Claim 127 in which the distance between adjacent conductors remains substantially the same throughout their lengths.

44

WO 02/05308

PCT/US01/30717

137. The apparatus of Claim 101 wherein said first ends are in axial alignment with respective ones of said second ends.

138. The apparatus of Claim 101 wherein said conductors follow rectangular paths.

139. An antenna for radiating RF power into a vacuum chamber, the antenna comprising:

plural parallel segmented conductors, each having a first end located in a first common region and a second end located in a second common region, and each being wound about a common axis passing through both regions, said regions being concentric with said axis, said conductors being substantially the same length, substantially the same shape, and substantially evenly spaced with respect to each other about said common axis.

140. The apparatus of Claim 139 in which the plural segmented conductors respectively define adjacent concentric helices oriented side by side with respect to the axis.

141. The apparatus of Claim 140 in which each of the concentric helices is offset with respect to the other on the order of a conductor width in a direction transverse to the axis.

142. The apparatus of Claim 139 in which each of the concentric helices is wound with a pitch having a component in the axial direction.

143. The apparatus of Claim 139 in which said the second common region is outside the first common region with respect to said axis.

144. The apparatus of Claim 139 in which the first and second common regions are axially displaced with respect to each other.

WO 02/05308

PCT/US98/20717

145. The apparatus of Claim 144 in which said first and second common regions overlap.
146. The apparatus of Claim 144 in which one of said regions is outside the other with respect to said axis.
147. The apparatus of Claim 139 in which at least one of said common regions is orthogonal to said common axis.
148. The apparatus of Claim 139 in which said first and second common regions lie in respective planes parallel to each other.
149. The apparatus of Claim 139 in which said first and second common regions are coplanar.
150. The apparatus of Claim 139 in which the distance between adjacent conductors increases with distance from the common axis.
151. The apparatus of Claim 139 in which the distance between adjacent conductors remains substantially the same throughout their lengths.
152. An RF plasma reactor for processing a workpiece, comprising:  
a vacuum chamber having a ceiling and defining an axis of symmetry;  
a workpiece support pedestal within the chamber;  
an outer coil antenna overlying a peripheral region of the ceiling, the outer antenna including a first plurality of conductors wound about said axis in respective concentric helical solenoids, each adapted to accept RF power; and  
an inner coil antenna overlying an inner region of the ceiling, said inner antenna including a second plurality of conductors wound about said axis in respective concentric helical solenoids, each adapted to accept RF power.

46



W/O 02/05208

PCT/US91/30717

153. The apparatus of Claim 152 wherein the conductors of each antenna are generally parallel to each other.

154. The apparatus of Claim 152 wherein the conductors of each antenna are interdeaved.

155. The apparatus of Claim 152 wherein each helical solenoid is offset with respect to the other in the direction of the axis.

156. The apparatus of Claim 152 wherein each helical solenoid is offset with respect to the other by a distance on the order of a conductor width.

157. The apparatus of Claim 152 wherein the conductors of each antenna are of generally the same length and of substantially the same shape.

158. The apparatus of Claim 152 further comprising an RF power source connected across each of said conductors.

159. The apparatus of Claim 152 wherein the conductors of each antenna each define first and second ends, each of said first ends and said second ends being azimuthally substantially equally spaced from each other.

160. The apparatus of Claim 159 wherein the first ends and second ends of an antenna are in registration with each other in an axial direction.

161. The apparatus of Claim 158 wherein each helical solenoid is wound with a pitch having a component in the axial direction.

WO 02/05308

PCT/US01/00717

162. The apparatus of Claim 156, in which first ends and second ends of said inner antenna are axially in registration respectively with first ends and second ends of said outer antenna.

163. The apparatus of Claim 152 wherein said outer antenna has a radius greater than that of said inner antenna.

164. The antenna of Claim 139 wherein said conductors define a rectangular pattern.

WO 02/05308

PCT/ES91/00717

1/18

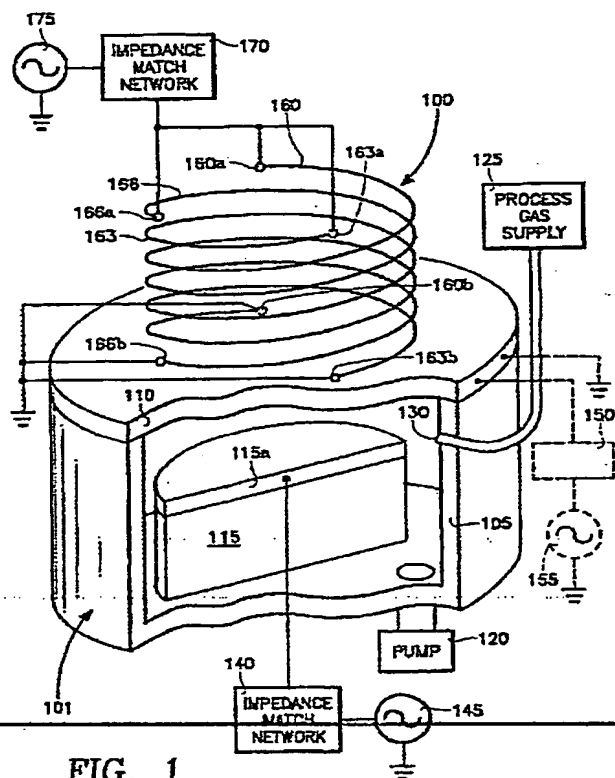


FIG. 1

WO 02/05328

PCT/US01/07917

2/18

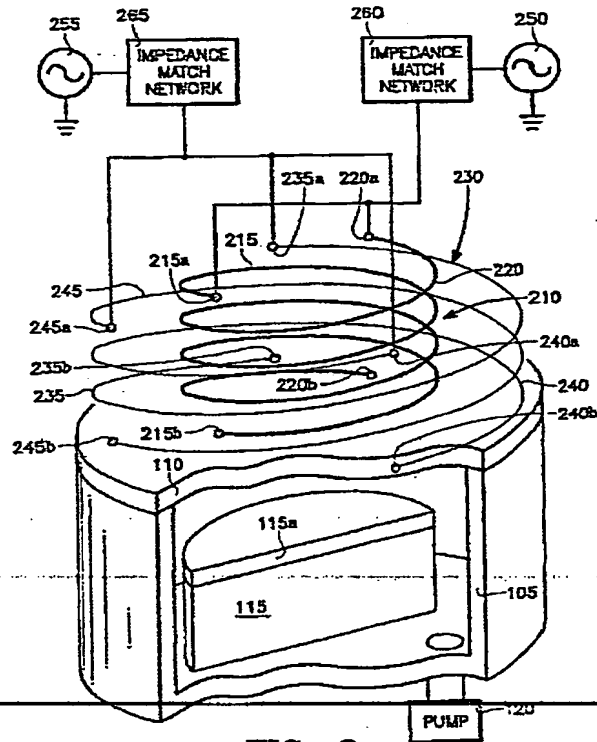


FIG. 2

WO 02/05308

PCT/US01/0717

3/18

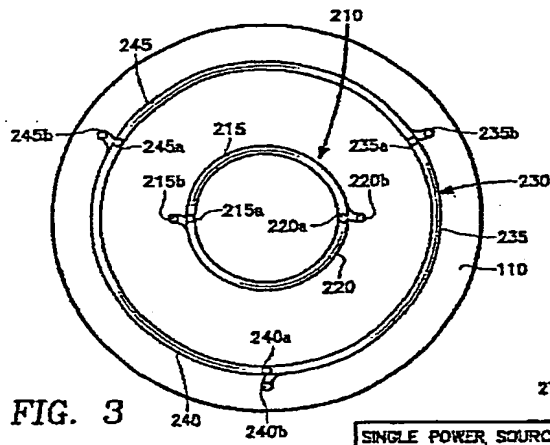


FIG. 3

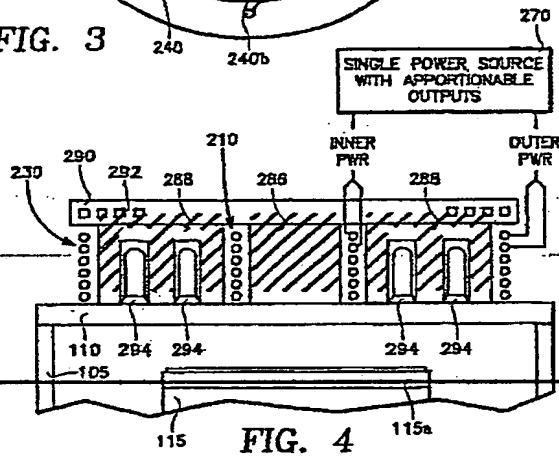
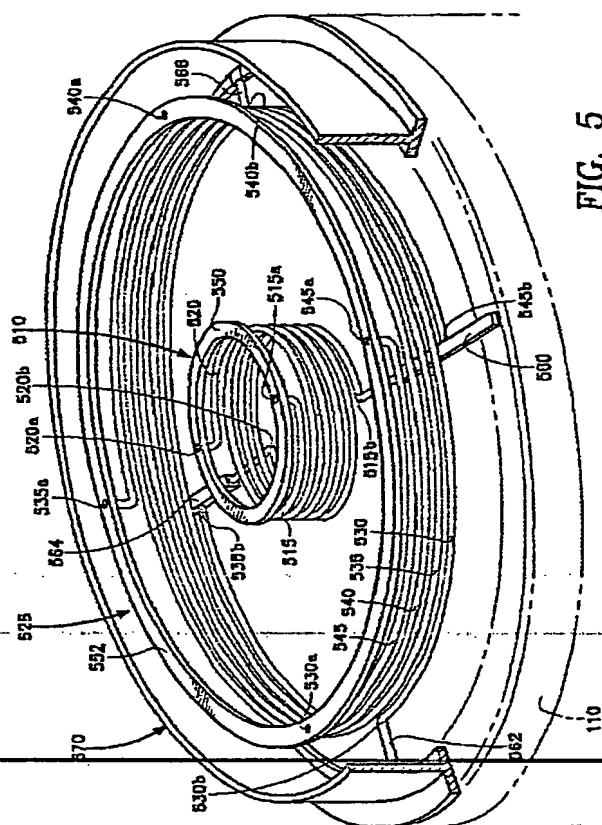


FIG. 4

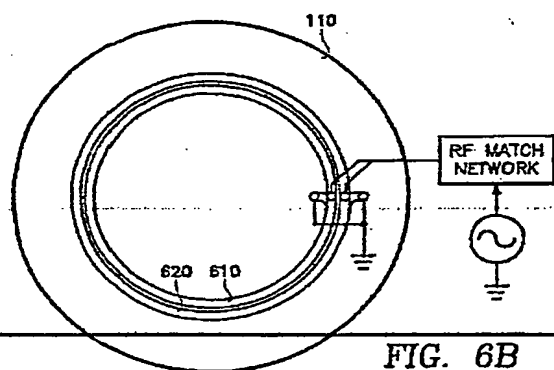
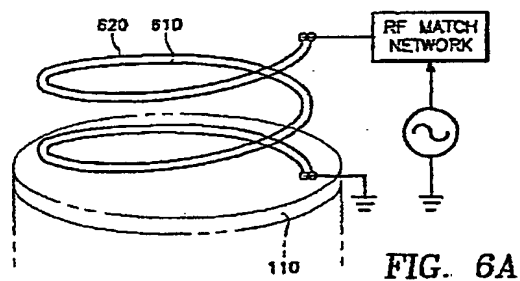
**FIG. 5**



WO 02/05308

PCT/US01/20717

5/18



W/O 02/05308

PCT/US91/20717

6/18

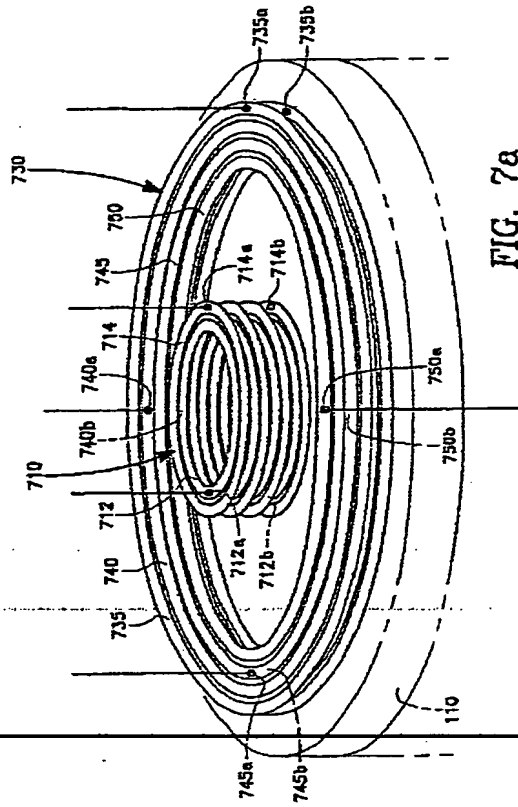
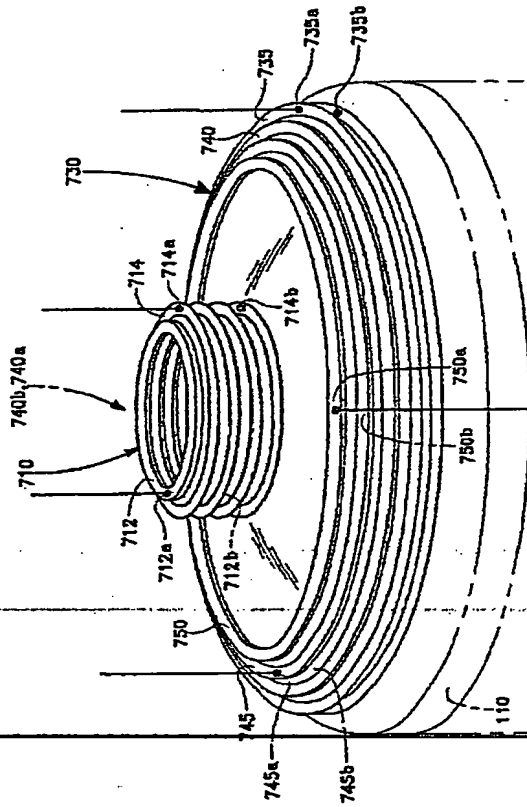


FIG. 7a



PCT/ESA/20777

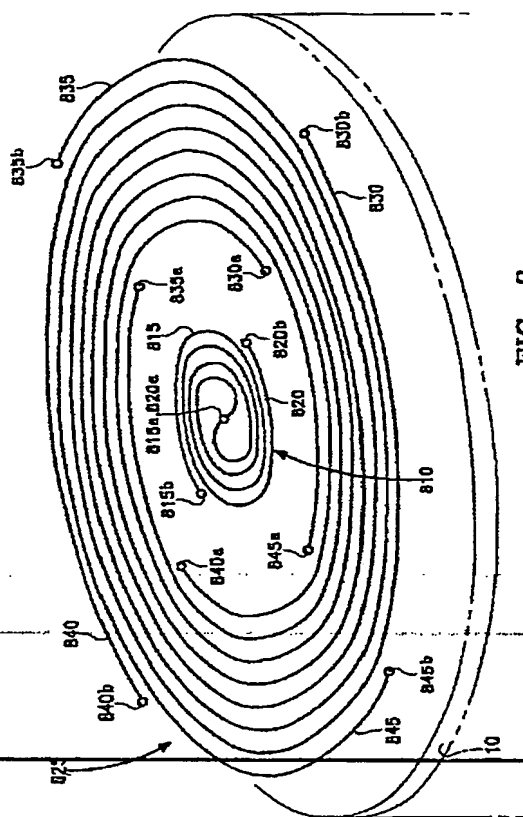
FIG. 7b



WFO 02/05/2008

PCT/US91/00717

8/18



**FIG. 8**

WO 02/05308

PCT/US01/0717

9/18

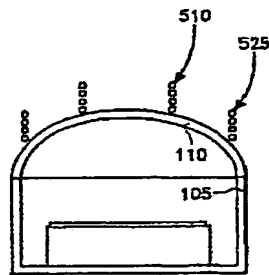


FIG. 9

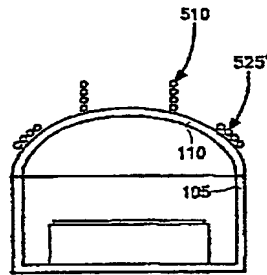


FIG. 10

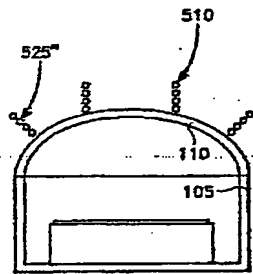


FIG. 11

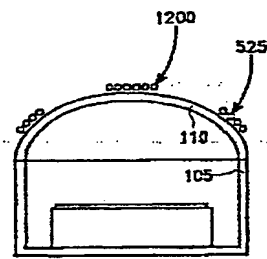


FIG. 12

W/O 62/05308

PCT/US91/0717

10/18

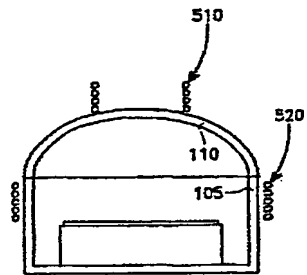


FIG. 13

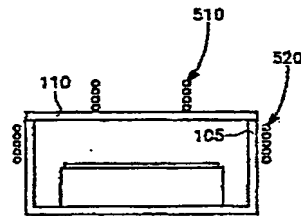


FIG. 14

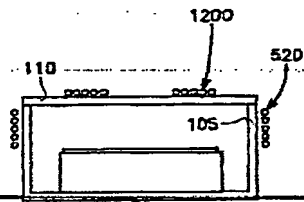
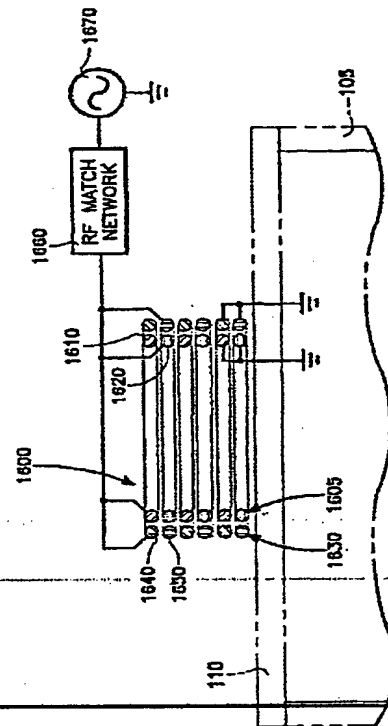


FIG. 15

W/O 02/05308

PCT/US01/07117

11/18



WO 02/05308

PCT/US97/07717

12/17

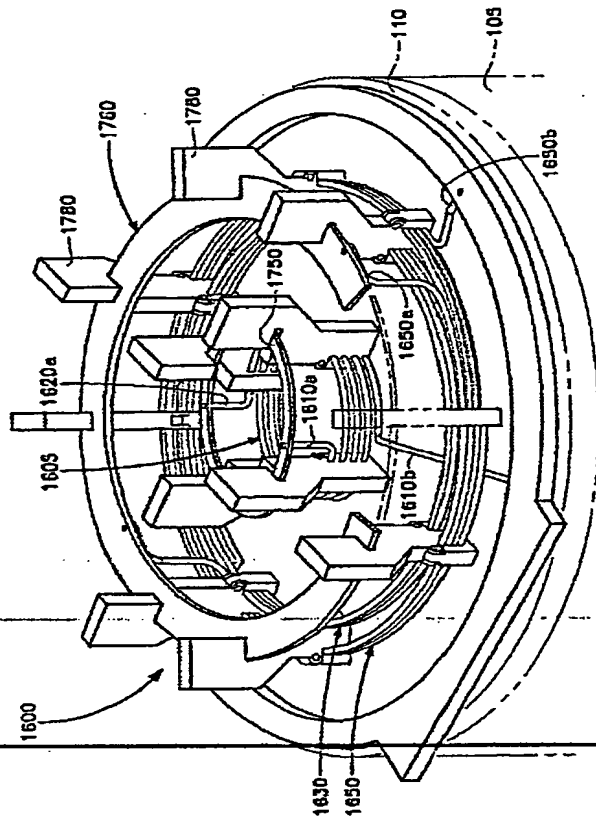


FIG. 17

W/D 02/05308

PCT/US99/20717

13/18

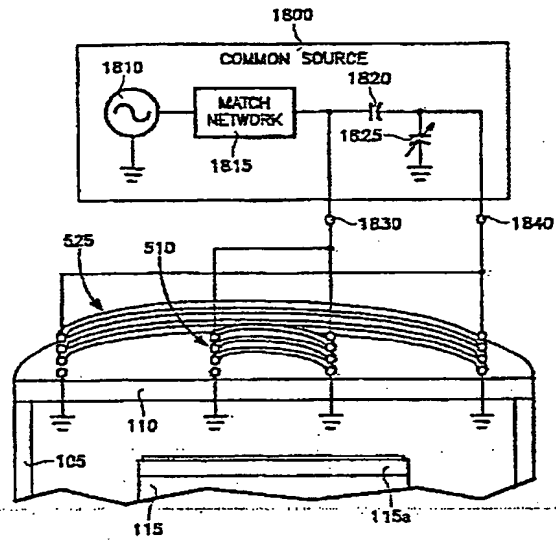


FIG. 18





WO 02/05308

PCT/US01/00777

15/18

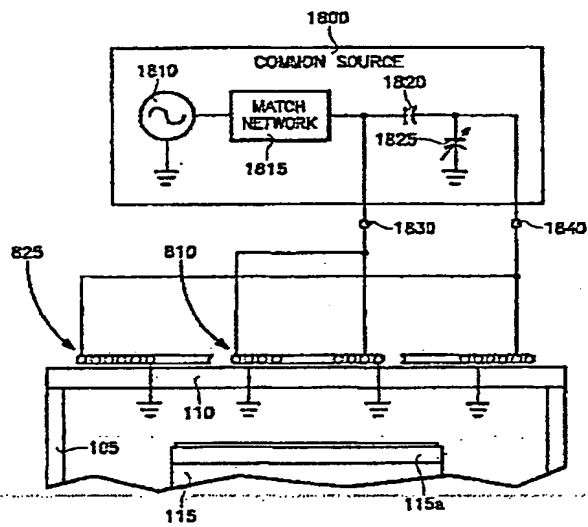


FIG. 20

W/O 02/05208

PCT/US01/0717

16/18

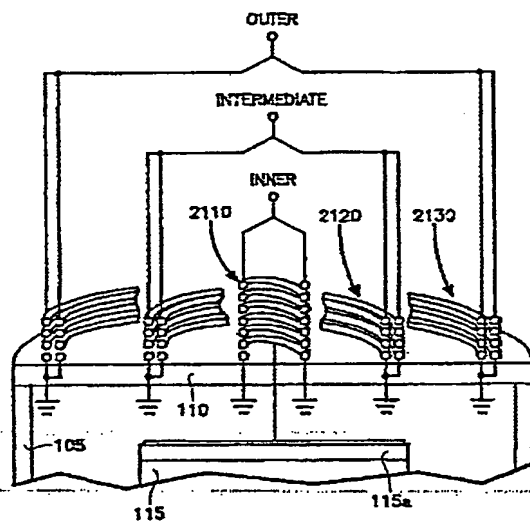


FIG. 21

W/O 02/05308

PCT/US01/20717

17/18

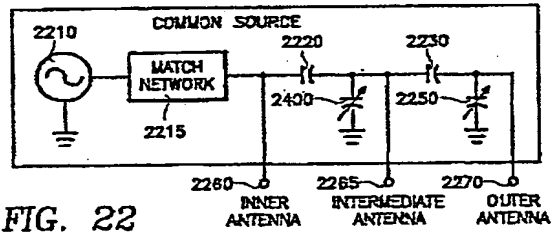


FIG. 22

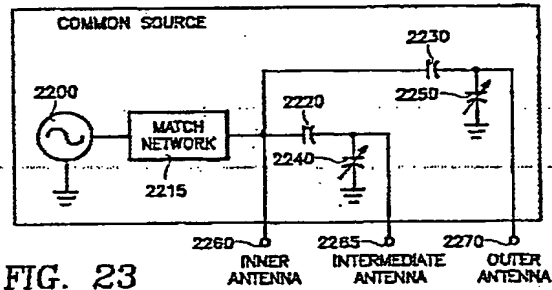


FIG. 23

WO 02/05308

PCT/US01/30717

18/18

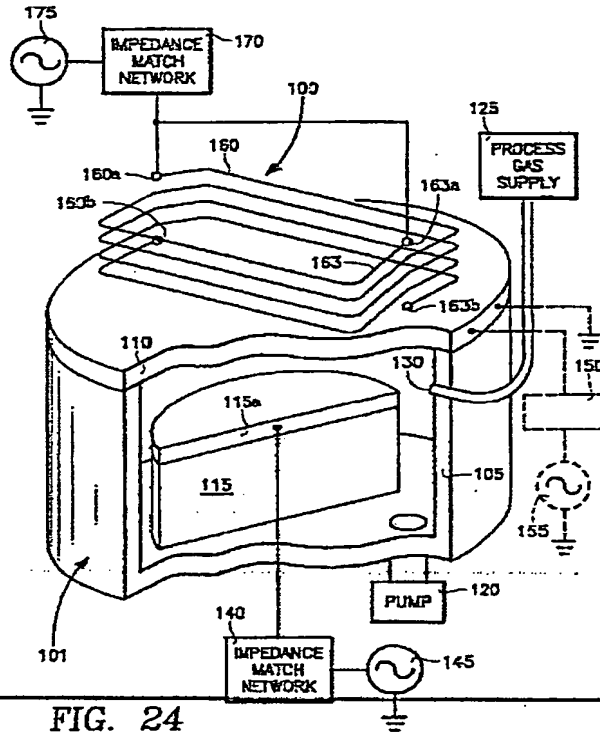


FIG. 24

## 【国際公開パンフレット (コレクトバージョン)】

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization  
International Bureau(43) International Publication Date  
17 January 2002 (17.01.2002)

PCT

(10) International Publication Number  
WO 02/05308 A3

(51) International Patent Classification: H01J 37/22

(11) International Application Number: PCT/US01/20717

(12) International Filing Date: 29 June 2001 (29.06.2001)

(20) Filing Language: English

(26) Publication Language: English

(30) Priority Data:

09/670,200	6 July 2000 (06.07.2000)	US
09/611,146	6 July 2000 (06.07.2000)	US
09/611,345	6 July 2000 (06.07.2000)	US
09/611,169	6 July 2000 (06.07.2000)	US
09/611,170	6 July 2000 (06.07.2000)	US

(72) Inventor: ROLLAND, John; 1523 Calaveras Avenue,  
San Jose, CA 95126 (US); YODanis, Volantis, N.  
3700 Wilcox Campus #202, Fremont, CA 94538 (US);  
BAJONES, Michael; 1221 Santa Teresa Drive, San Ramon,  
CA 94583 (US).

(74) Agent: BERNARDI, COL. Michael, A. et al.; Ritzly,  
Schaffert, Taylor & Zappan LLP, 17420 Wilshire Boul-  
levard, 7th Floor, Los Angeles, CA 90025 (US).

(81) Designated States (national): JP

(84) Designated States (regional): European patent (AT, BE,  
CH, CY, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC,  
NL, PT, SE, TR).

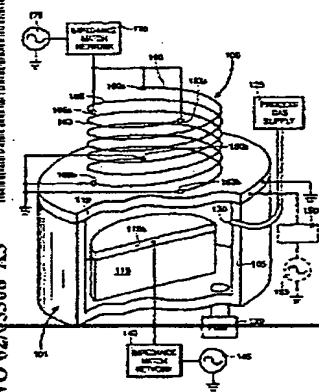
Published:  
with international search report

(71) Applicant: APPLIED MATERIALS, INC. (US/US);  
P.O. Box 450A, Santa Clara, CA 95050 (US)

(88) Date of publication of the international search report:  
20 June 2002

(Continued on next page)

(54) Title: A PLASMA REACTOR HAVING A SYMMETRIC PARALLEL CONDUCTOR COIL ANTENNA



(57) Abstract: The invention is an embodiment is realized in a plasma reactor for processing a semiconductor workpiece. The reactor includes a vacuum chamber having a side wall and a ceiling, a workpiece support positioned within the chamber and generally facing the ceiling, a gas inlet capable of introducing parallel conductor coil antenna overlying the ceiling and including a first plurality of conductors wound about an axis of symmetry generally perpendicular to the ceiling in respective concentric helical solenoids of at least nearly uniform lateral displacement from the axis of symmetry, each helical solenoid being offset from the other helical solenoids in a direction parallel to the axis of symmetry. A RF plasma source power supply is connected across each of the plural solenoids. In another embodiment, the antenna is a solenoidal superposed parallel conductor coil antenna overlying the ceiling and including a first plurality of conductors wound about an axis of symmetry generally perpendicular to the ceiling in respective concentric side-by-side helical solenoids, each helical solenoid being offset by a distance on the order of a conductor width of the plurality of conductors from its nearest other helical solenoid in a direction perpendicular to the axis of symmetry, whereby each helical solenoid has slightly different diameter.

WO 02/05308 A3

H02M 07/00 (2006.01)

For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.

## 【國際調查報告】

[illegible]

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int. Appl. No.  
PCT/US 01/26717

Documents considered to be relevant		
Category	Caption of document, and abstract, where appropriate, in the relevant language	Relevant to Class No.
A	EP 0 840 349 A (APPLIED MATERIALS INC) 6 May 1998 (1998-05-06) column 14, line 44 - line 58; figure 5	37,101
A	US 6 028 395 A (DEMOS ALEX ET AL) 22 February 2000 (2000-02-22) the whole document	34,75, 93,138, 164



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
*Attention on patent family members*

 see application No  
**PCT/US 01/29717**

Patent document cited in search report	Publication date	Patent number	Publication date
US 5919352	A 06-07-1999	EP 0833367 A2	01-04-1998
		JP 10125663 A	15-05-1998
		SC 13081 A1	28-09-1998
		AT 181637 T	15-07-1999
		DE 69510427 D1	29-07-1999
		DE 69510427 T2	30-12-1999
		EP 0710055 A1	01-05-1996
		JP 6227678 A	03-09-1996
		US 6291793 B1	18-09-2001
		US 6297458 B1	02-10-2001
US 5558722	A 24-09-1996	JP 3105403 B2	30-10-2000
		JP 8083696 A	26-03-1996
		CN 1132930 A .B	09-10-1996
		KR 162916 B1	01-02-1999
		US 5711850 A	27-01-1998
EP 0840349	A 06-05-1998	US 6252354 B1	26-06-2001
		EP 0840349 A2	06-05-1998
		EP 0840350 A2	06-05-1998
		JP 10241854 A	11-09-1998
		JP 10241895 A	11-09-1998
		US 6095084 A	01-08-2000
US 6026355	A 22-02-2000	EP 1018135 A2	12-07-2000
		JP 2001516944 T	02-10-2001
		WO 9914784 A2	25-03-1999

フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

H01L 21/3065

F I

H01L 21/205

H01L 21/302 101C

テーマコード (参考)

(31)優先権主張番号 09/611,169

(32)優先日 平成12年7月6日(2000.7.6)

(33)優先権主張国 米国(US)

(31)優先権主張番号 09/611,170

(32)優先日 平成12年7月6日(2000.7.6)

(33)優先権主張国 米国(US)

(81)指定国 EP(AT,BE,CH,CY,DE,DK,ES,FI,FR,GB,GR,IE,IT,LU,MC,NL,PT,SE,TR),JP

(74)代理人 100074228

弁理士 今城 俊夫

(74)代理人 100084009

弁理士 小川 信夫

(74)代理人 100082821

弁理士 村社 厚夫

(74)代理人 100086771

弁理士 西島 孝喜

(74)代理人 100084663

弁理士 箱田 篤

(72)発明者 ホランド ジョン

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95126 サン ホセ カラヴェラス アヴェニュー 1

565

(72)発明者 トドロウ ヴァレンティン エヌ

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94538 フリーモント ウォルコット コモン 330

0 #202

(72)発明者 バーンズ マイケル

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94583 サン レモン サンタ テレサ ドライヴ 1

221

F ターム(参考) 4G075 AA30 AA62 BC04 BC06 CA25 CA65 DA02 EC21 EE01

4K030 AA06 BA29 EA06 EA08 KA05 KA14 KA34

5F004 BA20 BB13 BB32 BD04

5F045 AA08 BB08 DP02 EH11 EH20

【要約の続き】

直径を有する。

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

